



TUGAS AKHIR - TK 145501

**PEMBUATAN BIOGAS DARI LIMBAH CAIR PABRIK
GULA MERAH MENGGUNAKAN KOTORAN SAPI
DAN AMPAS TEBU DENGAN PROSES ANAEROB**

Dinar Resti Megarani
NRP. 2312 030 030

Hanna Rasyida
NRP. 2311 030 064

Dosen Pembimbing
Ir. Agus Surono, M.T.

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK KIMIA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT TK 145501

**PRODUCTION BIOGAS FROM SUGAR CANE
LIQUID WASTE USING COW FECES AND
BAGASSE BY ANAEROBIC PROCESS**

Dinar Resti Megarani
NRP. 2312 030 030

Hanna Rasyida
NRP. 2311 030 064

Lecturer
Ir. Agus Surono, M.T.

**DEPARTMENT DIPLOMA OF CHEMICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN TUGAS AKHIR


Telah diperiksa dan disetujui sesuai dengan hasil ujian tugas akhir pada tanggal 16 Juni 2015, untuk tugas akhir dengan judul **“Pembuatan Biogas dari Limbah Cair Pabrik Gula Merah Menggunakan Kotoran Sapi dan Ampas Tebu dengan Proses Anaerob”**, yang disusun oleh :

Dinar Resti Megarani
Hanna Rasyida

(2312 030 030)
(2312 030 064)

Mengetahui/menyetujui
Dosen Penguji


Ir. Imam Syafril, M.T.
NIP. 19570819 198701 1 001


Ir. Sri Murwanti, M.T.
NIP. 19530226 198502 2 001

Mengetahui,

Koordinator Tugas Akhir

Dosen Pembimbing


Nad Ferdiansyah P. P., S. T., M.T.
NIP. 2300201308002


Ir. Agus Surono, M.T.
NIP. 19590727 198701 1 001

**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL :
PEMBUATAN BIOGAS DARI LIMBAH
CAIR PABRIK GULA MERAH
MENGUNAKAN KOTORAN SAPI DAN
AMPAS TEBU DENGAN PROSES
ANAEROB**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing



Ir. Agus Surono, M.T.

NIP. 19590727 198701 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi

D III Teknik Kimia FTI-ITS



Ir. Budi Setiawan, M.T.

NIP. 19540220 198701 1 001

Koordinator Tugas Akhir

D III Teknik Kimia FTI-ITS



Achmad Ferdiansyah P. P., S. T., M.T.

NIP. 2300201308002

PEMBUATAN BIOGAS DARI LIMBAH CAIR PABRIK GULA MERAH MENGGUNAKAN KOTORAN SAPI DAN AMPAS TEBU DENGAN PROSES ANAEROB

Nama Mahasiswa : Dinar Resti Megarani (2312 030 030)
Nama Mahasiswa : Hanna Rasyida (2312 030 064)
Jurusan : D3 Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Agus Surono, MT.

ABSTRAK

Biogas adalah bahan bakar berguna yang dapat diperoleh dengan memproses limbah (sisa) pertanian yang basah, kotoran hewan, kotoran manusia atau campurannya, di dalam alat yang dinamakan penghasil gas bio. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh rasio COD : N : P sebesar 250:3:1, 250:4:1, 250:5:1 dan 250:7:1 pada pencampuran kotoran sapi dan ampas tebu terhadap biogas yang dihasilkan dari proses anaerobik dan mengetahui jumlah persen penyisihan COD yang terjadi selama proses pembuatan biogas secara anaerobik dari kotoran sapi dan ampas tebu serta mengetahui massa biogas yang dihasilkan.

Adapun metode penelitian ini antara lain pertama-tama melakukan tahap pretreatment terhadap bahan baku yaitu ampas tebu dengan cara dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 30 menit, kemudian menggiling dengan gilingan agar diperoleh ukuran ampas tebu sebesar 120 mesh sebanyak 100 gr. Bahan baku limbah cair gula merah menggunakan penyaring agar pengotor padat terpisahkan hingga didapatkan 1000 ml limbah cair gula merah. Tahap selanjutnya yaitu tahap pencampuran bahan baku yang telah melalui pretreatment dengan kotoran sapi segar sebanyak 1 kg, menambah nutrisi nitrogen (N) dari urea dan fosfat (P) dari SP36 masing-masing sesuai variable rasio COD:N:P. Tahap selanjutnya melakukan fermentasi terhadap bahan baku campuran dalam digester anaerob selama 72 jam. Kemudian mengamati hasil gas dan menghitung persen penyisihan COD.

Penelitian ini menghasilkan biogas paling optimum pada variabel COD:N:P 250:4:1 sebesar 11,4602 gr dibandingkan dengan variabel COD:N:P 250:3:1 sebesar 11,2715 gr, COD:N:P 250:5:1 sebesar 9,8215 gr dan COD:N:P 250:7:1 sebesar 10,6894 gr. Sedangkan untuk persen penyisihan COD paling optimum pada variabel 250:4:1 sebesar 84,285 %.

Kata kunci : Biogas, rasio COD:N:P, Limbah cair gula merah

PRODUCTION BIOGAS FROM SUGAR CANE LIQUID WASTE USING COW FECES AND BAGASSE BY ANAEROBIC PROCESS

Student Name : Dinar Resti Megarani (2312 030 030)
Student Name : Hanna Rasyida (2312 030 064)
Departement : D3 Teknik Kimia FTI-ITS
Lecture : Ir. Agus Surono, MT.

Biogas is a useful fuel that can be obtained by processing waste (waste) wet agriculture, animal feces or mixtures thereof, in a device called a bio-gas producer. The purpose of this study was to determine the effect of the ratio of COD: N: P of 250: 3: 1, 250: 4: 1, 250: 5: 1 and 250: 7: 1 in mixing cow feces and bagasse for biogas produced from the anaerobic process and determine the percentage of COD that occurs during the anaerobic process biogas from cow feces and bagasse as well as knowing the mass of the biogas produced.

The method of this study are, firstly perform pretreatment stage for raw materials, namely bagasse by means of dried using an oven at 105°C for 30 minutes, then grind the mill in order to obtain bagasse size of 120 mesh as much as 100 grams. Separate solid impurities raw material waste liquid brown sugar using a filter up to 1000 ml of liquid waste obtained brown sugar. The next stage is the stage of mixing the raw materials that have gone through a pretreatment with fresh cow faces as much as 1 kg, add nutrients nitrogen (N) from urea and phosphate (P) of the SP36 each corresponding variable ratio COD: N: P. The next stage of fermentation of the raw material mixture in the anaerobic digester for 72 hours. Then observe the results of the gas and calculate percent COD removal.

This research resulted in the most optimum biogas at variable COD: N: P 250: 4: 1 by 11, 4602 grams compared with a variable COD: N: P 250: 3: 1 by 11.2715 grams, COD: N: P 250: 5: 1 by 9.8215 grams and the COD: N: P 250: 7: 1 by 10.6894 grams. While for the most optimum percent COD removal at a variable 250: 4: 1 by 84.285%.

Keywords: *Biogas, the ratio COD: N: P, Waste liquid brown sugar*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil'alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan ridho-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PEMBUATAN BIOGAS DARI LIMBAH CAIR PABRIK GULA MERAH MENGGUNAKAN KOTORAN SAPI DAN AMPAS TEBU DENGAN PROSES ANAEROB”**. Sholawat serta salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu tugas yang harus diselesaikan sebagai persyaratan kelulusan program studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah mahasiswa dapat memahami dan mampu mengenal proses pembuatan produk pada industri terutama industri kimia yang telah dipelajari di bangku kuliah serta aplikasinya dalam sebuah pembuatan produk (inovasi produk).

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya atas selesainya Tugas Akhir ini, penulis ingin ucapkan kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, antara lain kepada :

1. Kedua orang tua kami yang senantiasa mendoakan dan mendukung setiap langkah kami serta jasa-jasa lain yang terlalu sulit untuk diungkapkan.
2. Bapak Ir. Agus Surono, M.T selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Ibu Ir. Sri Murwanti, M.T selaku dosen penguji Tugas Akhir Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

4. Bapak Ir. Imam Syafril, MT selaku dosen penguji Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Bapak Ir. Budi Setiawan, MT selaku Ketua Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
6. Bapak Achmad Ferdiansyah PP, ST, MT selaku coordinator Tugas Akhir Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
7. Bapak Ir. Agung Subyakto, MS selaku Dosen Wali Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
8. Bapak Profesor. Dr. Ir. Suprpto, DEA selaku Dosen Wali Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
9. Segenap dosen, staff, dan karyawan Program Studi D III Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
10. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan disini yang telah membantu terselesainya Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan mohon maaf yang sebesar-besarnya kepada semua pihak jika dalam proses dari awal sampai akhir penulisan Tugas Akhir ini ada kata-kata atau perilaku yang kurang berkenan. Terimakasih atas perhatiannya dan kerjasamanya.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| KATA PENGANTAR | i |
| ABSTRAK | ii |
| ABSTRACT | iii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| I.1. Latar Belakang | I-1 |
| I.2. Perumusan Masalah..... | I-3 |
| I.3. Batasan Masalah..... | I-3 |
| I.4. Tujuan Inovasi Produk | I-4 |
| I.5. Manfaat Inovasi Produk | I-4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| II.1. Sejarah Biogas | II-1 |
| II.2. Definisi Biogas | II-1 |
| II.3. Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu (<i>Bagasse</i>) sebagai Penghasil Biogas | II-5 |
| II.4. Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Gula Merah | II-7 |
| II.5. Kandungan Kimia dan Biologi Kotoran Sapi..... | II-8 |
| II.6. Manfaat dari Pembuatan Biogas | II-10 |
| II.7. Reaktor Biogas..... | II-17 |
| II.8. Aplikasi Biogas di Masyarakat..... | II-19 |
| BAB III METODOLOGI PEMBUATAN PRODUK | |
| III.1. Tahap Pelaksanaan | III-1 |
| III.2. Bahan yang Digunakan..... | III-1 |
| III.3. Peralatan yang Digunakan | III-1 |
| III.4. Variabel yang Dipilih | III-2 |
| III.5. Prosedur Percobaan | III-2 |
| III.5.1. Tahap Persiapan Bahan Baku Biogas | III-2 |
| III.5.2. Tahap Pembuatan Variabel | III-3 |
| III.5.3. Tahap Pembuatan Biogas..... | III-3 |
| III.6. Tempat Pelaksanaan | III-5 |
| III.7. Diagram Alir Percobaan | III-6 |

| | |
|---------------------------------------------|--------|
| III.8. Diagram Blok Pembuatan Biogas | III-14 |
| III.9. Sketsa Alat | III-15 |
| III.10. Visualisasi Sketsa Alat | III-15 |
| III.11. Gambar Penelitian | III-16 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| IV.1. Hasil Penelitian dan Pembahasan | IV-1 |
| IV.2. Pembahasan | IV-5 |
| BAB V NERACA MASSA DAN PANAS | |
| V.1. Neraca Massa | V-1 |
| V.2. Neraca Panas | V-3 |
| BAB VI ANALISIS KEUANGAN | |
| VI.1. Anggaran Biaya Pembuatan Produk..... | VI-1 |
| VI.2. Harga Pokok Penjualan (HPP) | VI-2 |
| VI.3. <i>Break Event Point</i> (BEP)..... | VI-5 |
| BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN | |
| VII.1. Kesimpulan..... | VII-1 |
| VII.2. Saran | VII-1 |
| DAFTAR PUSTAKA | vii |
| DAFTAR NOTASI | viii |
| APPENDIKS A | A-1 |
| APPENDIKS B | B-1 |
| APPENDIKS C | C-1 |

DAFTAR TABEL

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tabel II.1 Perbandingan Hasil Pembakaran Biogas Dengan Bahan Bakar Lain | II-2 |
| Tabel II.2 Komposisi Ampas Tebu | II-6 |
| Tabel II.3 Hasil Analisa Limbah Cair Gula Merah | II-7 |
| Tabel II.4 Komposisi Biogas dari Bahan Baku Kotoran Sapi..... | II-9 |
| Tabel II.5 Kandungan Kotoran Sapi Kering..... | II-10 |
| Tabel II.6 Komposisi Biogas..... | II-13 |
| Tabel II.7 Nilai Kalor Pembakaran Biogas dan Natural Gas..... | II-14 |
| Tabel II.8 Karakteristik dari Metana dan CO ₂ | II-15 |
| Tabel II.9 Rasio C/N untuk Berbagai Bahan Organik..... | II-16 |
| Tabel IV.1 Hasil Massa Akumulatif Variabel Penelitian | IV-2 |
| Tabel IV.2 Ringkasan Massa Biogas pada Berbagai Variabel Penelitian | IV-3 |
| Tabel IV.3 Hasil Massa Non-Akumulatif Variabel Penelitian | IV-4 |
| Tabel IV.4 Persen (%) Penyisihan COD awal bahan biogas dengan COD Akhir setelah melalui Proses Fermentasi | IV-5 |
| Tabel V.1 Neraca Massa Komponen Aliran 1 (Kotoran Sapi) | V-1 |
| Tabel V.2 Neraca Massa Komponen Aliran 2 (Limbah Gula Merah) | V-2 |
| Tabel V.3 Neraca Massa Komponen Aliran 3 (Air) | V-2 |
| Tabel V.4 Neraca Massa Komponen Aliran 4 (Ampas Tebu)..... | V-2 |
| Tabel V.5 Berat Molekul Komponen | V-2 |
| Tabel V.6 Neraca Massa Pencampuran..... | V-3 |
| Tabel V.7 Massa Komponen pada Reaksi Hidrolisa | V-3 |
| Tabel V.8 Massa Komponen pada Reaksi Asidogenesis Selulosa | V-4 |

| | | |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|------|
| Tabel V.9 | Massa Komponen pada Reaksi Asetogenesis | |
| | Selulosa..... | V-4 |
| Tabel V.10 | Massa Komponen pada Reaksi Metanogenesis | |
| | Selulosa | V-4 |
| Tabel V.11 | Massa Komponen pada Reaksi Asidogenesis | |
| | Glukosa | V-4 |
| Tabel V.12 | Massa Komponen pada Reaksi Asetogenesis | |
| | Glukosa | V-5 |
| Tabel V.13 | Massa Komponen pada Reaksi Metanogenesis | |
| | Glukosa | V-5 |
| Tabel V.14 | Massa Gas CO ₂ dan CH ₄ | V-5 |
| Tabel V.15 | Neraca Massa Total | V-6 |
| Tabel V.16 | Perhitungan H Reaksi Asidogenesis Selulosa | |
| | Menjadi Etanol dan CO ₂ | V-7 |
| Tabel V.17 | Perhitungan ΔH_{25} | V-7 |
| Tabel V.18 | Perhitungan H Reaksi Asetogenesis Selulosa | |
| | Menjadi Asam Asetat dan CO ₂ | V-8 |
| Tabel V.19 | Perhitungan ΔH_{25} | V-8 |
| Tabel V.20 | Perhitungan H Reaksi Metanogenesis | |
| | Selulosa Menjadi CH ₄ dan CO ₂ | V-8 |
| Tabel V.21 | Perhitungan ΔH_{25} | V-9 |
| Tabel V.22 | Perhitungan H Reaksi Asidogenesis | |
| | Glukosa Menjadi Etanol dan CO ₂ | V-9 |
| Tabel V.23 | Perhitungan ΔH_{25} | V-9 |
| Tabel V.24 | Perhitungan H Reaksi Asetogenesis Glukosa | |
| | Menjadi Asam Asetat dan CO ₂ | V-10 |
| Tabel V.25 | Perhitungan ΔH_{25} | V-10 |
| Tabel V.26 | Perhitungan H Reaksi Metanogenesis | |
| | Asam Asetat Menjadi CH ₄ dan CO ₂ | V-11 |
| Tabel V.27 | Perhitungan ΔH_{25} | V-11 |
| Tabel V.28 | Neraca Panas Total | V-18 |
| Tabel VI.1 | Biaya Investasi Peralatan Proses Produksi | VI-1 |
| Tabel VI.2 | Biaya Kebutuhan Bahan Baku Produksi..... | VI-2 |
| Tabel VI.3 | Biaya Pendukung Utilitas..... | VI-2 |

| | |
|-----------------------------------------------------|------|
| Tabel VI.4 Biaya Pendukung Lainnya | VI-2 |
| Tabel VI.5 Perhitungan Biaya Penjualan | VI-7 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Gambar II.1. <i>Bagasse</i> atau Ampas Tebu | II-7 |
| Gambar II.2. Limbah Cair Gula Merah..... | II-8 |
| Gambar II.3. Kotoran Sapi Untuk Biogas | II-9 |
| Gambar II.4. Aplikasi Biogas Skala Rumah Tangga..... | II-11 |
| Gambar II.5. Biogas Sebagai Sumber Energi Lampu..... | II-11 |
| Gambar II.6. <i>Sludge</i> Biogas Untuk Pupuk Organik..... | II-12 |
| Gambar II.7. Biogas Mengurangi Efek Rumah Kaca | II-12 |
| Gambar II.8. <i>Digester</i> Skala <i>Batch</i> | II-18 |
| Gambar II.9. KPSP Setia Kawan di Nongkojajar dan Peternakan Sapi | II-20 |
| Gambar II.10. Hasil Biogas Digunakan Untuk Sumber Energi..... | II-21 |
| Gambar II.11. Pupuk Organik dari Limbah Biogas | II-21 |
| Gambar II.12. Biogas Sebagai Bahan Bakar Gas | II-21 |
| Gambar II.13. Biogas Sebagai Sumber Penerangan | II-22 |
| Gambar III.9. Sketsa Alat | III-15 |
| Gambar III.10. Visualisasi Sketsa Alat | III-15 |
| Gambar III.11.1. Gambar Penelitian Tahap Pre Treatment Bahan Baku Substrat Ampas Tebu | III-16 |
| Gambar III.11.2. Gambar Penelitian Tahap Percobaan .. | III-17 |
| Gambar IV.1. Hubungan Antara Waktu Tinggal Fermentasi (Jam) dengan Massa Gas Akumulatif yang Dihasilkan (kg) pada <i>Digester</i> <i>Skala Batch</i> | IV-2 |
| Gambar IV.2. Hubungan Antara Waktu Tinggal Fermentasi (Jam) dengan Massa Gas Non-akumulatif yang Dihasilkan (kg) pada <i>Digester</i> <i>Skala Batch</i> | IV-4 |
| Gambar VI.1. Grafik <i>Break Event Point</i> (BEP) | VI-7 |

DAFTAR NOTASI

| Simbol | Keterangan | Satuan |
|--------------|-------------------------------|---------|
| C_p | <i>Heat capacity</i> | Cal/g°C |
| M | Berat | Gram |
| T | Suhu | °C |
| T_{ref} | Suhu refren | °C |
| ΔH_f | <i>Enthalpy</i> | Cal/mol |
| BM | Berat molekul | - |
| V | Volume | ml |
| COD | <i>Chemical Oxygen Demand</i> | mg/l |

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Di Indonesia, energi migas masih menjadi andalan utama perekonomian Indonesia, baik sebagai penghasil devisa maupun pemasok kebutuhan energi dalam negeri. Pembangunan prasarana dan industri yang sedang giat-giatnya dilakukan di Indonesia, membuat pertumbuhan konsumsi energi rata-rata mencapai 7% dalam 10 tahun terakhir. Diperkirakan hingga tahun 2030 konsumsi energi masih tergantung kepada energi minyak bumi yang tidak terbarukan. Kondisi energi Indonesia saat ini masih mengandalkan pada migas sebagai penghasil devisa maupun untuk memasok kebutuhan dalam negeri. Meskipun Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang beragam, namun pengelolaan dan penggunaannya belum optimal. Energi dari bahan bakar minyak yang digunakan dalam kebutuhan sehari-hari semakin menipis dan harganya semakin tinggi, terutama di Indonesia. proporsi penggunaan energi oleh sektor transportasi yang mencapai lebih dari 30 persen dari total penggunaan energi nasional yang hampir seluruhnya (92%) bersumber dari bahan bakar minyak (BBM) selain masalah pada pasokan BBM juga berdampak buruk bagi lingkungan, untuk itu perlu dicari sumber alternatif lainnya yang lebih menguntungkan yang berasal dari bahan-bahan limbah yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi (*Biro Riset LM FEUI, 2012*).

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan kebutuhan manusia akan energy, maka perlu upaya untuk memulai menghindari ketergantungan energi yang menggunakan bahan bakar fosil yang jumlahnya semakin



menipis. Selain itu, bahan bakar fosil mempunyai dampak yang kurang baik bagi lingkungan karena polusi yang dihasilkan adalah Carbon (CO) yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan sekitar. Oleh karena itu dicarilah energi alternatif lain yang tidak memakai bahan bakar fosil, tidak berpolusi, serta ramah lingkungan. Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil, yaitu dengan menggunakan biogas. Biogas banyak dikembangkan di beberapa negara, antara lain di Amerika Serikat, Rusia dan Inggris. Biogas dapat dipertimbangkan sebagai energi alternatif terbarukan yang dapat dikembangkan di Indonesia, karena disamping potensi sumber daya ternak yang besar, sebagian besar masyarakat Indonesia masih mengandalkan sektor pertanian dan peternakan sebagai penggerak perekonomian. Rumah tangga peternak di Indonesia terbilang cukup besar. Dengan demikian, apabila biogas dapat dikembangkan dengan sukses, maka akan banyak masyarakat peternak yang mendapatkan manfaat dari biogas ini. Di samping itu, pemanfaatan biogas akan mengurangi dan menghemat pemanfaatan energi fosil yang ketersediaannya di Indonesia semakin terbatas apabila jumlah rumah tangga peternak di Indonesia yang cukup besar telah mengalihkan sebagian pemenuhan kebutuhan energinya dari energi fosil ke biogas. Biogas dapat berasal dari limbah peternakan dan pertanian, limbah tersebut kemudian diolah untuk dijadikan bahan bakar pengganti bahan bakar fosil. Biasanya dapat juga dimanfaatkan untuk menghasilkan tenaga listrik yang dapat digunakan untuk kebutuhan penerangan (*Setyawan, 2013*).

Limbah pertanian umumnya kaya akan komponen C, tetapi kekurangan N. Sebaliknya limbah peternakan umumnya kaya akan N tetapi kekurangan C, sehingga perlu disinergiskan antara limbah pertanian dan peternakan. Feses sapi sebagai



limbah peternakan diperlukan sebagai sumber C dan N dalam pembentukan gas metan. *Bagasse* adalah limbah pertanian yang kaya unsur C dengan rasio C/N 150. *Bagasse* memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi dan daya cerna yang rendah sehingga tidak baik dan kurang berpotensi jika dimanfaatkan sebagai pakan ternak. *Bagasse* sangat potensial digunakan sebagai bahan isian digester untuk menghasilkan biogas. Berbagai penelitian telah dilakukan dan dapat membuktikan bahwa *bagasse* dapat dijadikan sebagai bahan campuran isian digester untuk menghasilkan biogas. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan *bagasse* sebagai bahan campuran isian digester untuk menghasilkan biogas (Saputra, 2010).

I.2 Perumusan Masalah

Beberapa perumusan masalah yang akan dicoba diselesaikan dalam percobaan biogas :

1. Bagaimana pengaruh rasio COD : N : P sebesar 250:3:1, 250:4:1, 250:5:1 dan 250:7:1 pada penambahan kotoran sapi dan ampas tebu terhadap biogas secara kualitatif yang dihasilkan dari proses anaerobik ?
2. Berapa jumlah presentase penyisihan COD yang terjadi selama proses pembuatan biogas secara anaerobik dari kotoran sapi dan ampas tebu ?
3. Berapa massa (gr) biogas dari rasio COD : N : P sebesar 250:3:1, 250:4:1, 250:5:1 dan 250:7:1 yang dihasilkan dari proses pembuatan biogas secara anaerobik dari kotoran sapi dan ampas tebu ?



1.3 Batasan Masalah

Dalam percobaan ini, batasan masalah yang akan dipakai adalah sebagai berikut :

1. Sampel yang digunakan berasal dari limbah pertanian yaitu ampas tebu.
2. Sampel yang digunakan berasal dari limbah cair pabrik gula merah.
3. Bakteri yang digunakan berasal dari bakteri dalam kotoran sapi.

1.4 Tujuan Inovasi Produk

Tujuan dari percobaan biogas dari bahan baku limbah cair pabrik gula merah dan ampas tebu yaitu sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh rasio COD : N : P sebesar 250:3:1, 250:4:1, 250:5:1 dan 250:7:1 pada penambahan kotoran sapi dan ampas tebu terhadap biogas yang dihasilkan dari proses anaerobik
2. Mengetahui jumlah presentase penyisihan COD yang terjadi selama proses pembuatan biogas secara anaerobik dari kotoran sapi dan ampas tebu
3. Mengetahui massa (gr) biogas dari rasio COD : N : P sebesar 250:3:1, 250:4:1, 250:5:1 dan 250:7:1 yang dihasilkan dari proses pembuatan biogas secara anaerob dari kotoran sapi dan ampas tebu

1.5. Manfaat Inovasi Produk

1. Memanfaatkan limbah cair gula merah agar memiliki nilai jual yang tinggi.
2. Memanfaatkan limbah pertanian yaitu ampas tebu dan limbah peternakan yaitu kotoran sapi dengan mengolah menjadi biogas sebagai bahan bakar ramah lingkungan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II. 1 Sejarah Biogas

Sejarah penemuan proses *anaerobic digestion* untuk menghasilkan biogas tersebar di benua Eropa. Penemuan ilmuwan Alessandro Volta terhadap gas yang dikeluarkan dirawa-rawa terjadi pada tahun 1770, beberapa dekade kemudian Avogadro mengidentifikasi tentang gas metana. Setelah tahun 1875 dipastikan bahwa biogas merupakan produk dari proses *anaerobic digestion*. Tahun 1884 Pasteur melakukan penelitian tentang biogas menggunakan kotoran hewan. Era penelitian Pasteur menjadi landasan untuk penelitian biogas hingga saat ini. Karena harga BBM semakin murah dan mudah memperolehnya, pada tahun 1950-an pemakaian biogas di Eropa ditinggalkan sedangkan alat anaerobik pertama dibangun pada tahun 1900 (USU, 2011).

II.2 Definisi Biogas

Biogas berasal dari kata bios yang artinya hidup, sedangkan gas adalah sesuatu yang keluar dari tungku atau dari perapian atau lubang yang dihasilkan oleh makhluk hidup melalui proses tertentu. Proses yang dimaksud adalah proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob atau bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara (Abshami, 2014).

Biogas adalah gas produk akhir pencernaan atau degradasi anaerobik bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerobik dalam lingkungan bebas oksigen atau udara. Komponen terbesar biogas adalah metana (CH_4 , 54-80% vol) dan karbondioksida (CO_2 , 20-45% vol) serta sejumlah kecil H_2 , N_2 dan H_2S (USU, 2011).

Teknologi biogas adalah proses penguraian senyawa organik menjadi gas (terutama gas metana dan CO_2) dalam keadaan tanpa oksigen. Biogas ini menghasilkan energi yang bersih (tidak mencemari lingkungan) dan dapat digunakan untuk



berbagai keperluan. Biogas diproduksi menggunakan alat yang disebut reaktor biogas (*digester*) yang dirancang kedap udara (anaerob), sehingga proses penguraian oleh mikroorganisme dapat berjalan secara optimal (Lili Zalizar, 2014).

II.2.1 Potensi Pengembangan Biogas di Indonesia

Menurut UNDP, *Korea Energy Management Corporation* (KEMCO) dan PT. Bumi Harmoni Indraguna (2010), setiap 1 ekor ternak sapi/kerbau dapat menghasilkan sekitar $0,6 \text{ m}^3$ biogas per hari. Jumlah total sapi di Indonesia sekitar 15 juta ekor. Jumlah sapi tersebut berpotensi menghasilkan biogas sebesar $9 \text{ juta m}^3/\text{hari}$. Dalam sebulan potensi gas yang dihasilkan mencapai 270 juta m^3 dan dalam setahun menghasilkan 3285 juta m^3 . Potensi ekonomis biogas adalah sangat besar, hal tersebut mengingat bahwa 1 m^3 biogas dapat digunakan setara dengan 0,62 liter minyak tanah, maka produksi gas nasional tersebut di atas setara dengan 2,036 milyar liter minyak tanah. Jika biogas dimanfaatkan masyarakat Indonesia sebagai energi alternatif pengganti minyak tanah untuk memasak maka dapat menghemat dana sekitar Rp 22,4 trilyun/tahun (harga minyak tanah Rp 11.000,-). (Lili Zalizar, 2014)

Tabel II.1 Perbandingan Hasil Pembakaran Biogas dengan Bahan Bakar Lain

| Hasil Biogas | Setara Bahan Bakar Lain |
|------------------------|-----------------------------|
| 1 m^3 biogas | LPG 0,46 kg |
| | Minyak tanah 0,62 liter |
| | Minyak solar 0,52 liter |
| | Bensin 0,80 liter |
| | Gas kota $1,50 \text{ m}^3$ |
| | Kayu bakar 3,50 kg |

II.2.2 Macam-macam Bahan Baku Sumber Penghasil Biogas

Bahan baku sumber energi biogas merupakan bahan non-fosil, umumnya adalah biomassa. Untuk pemanfaatan biomassa, bahan baku hayati yang dipilih dari berbagai jenis biomassa harus



`mempertimbangkan tujuan pemanfaatannya, permintaan, dan ketersediaan. Selanjutnya, bahan baku ini bisa diubah menjadi bahan baru atau energi. Biomassa sebagai sumber hayati utamanya berasal dari tumbuhan atau sisanya. Hewan dan mikroorganisme serta bahan organik dari hewan dan mikroorganisme tersebut juga sama penting. Biomassa yang mengandung kadar air yang tinggi seperti kotoran hewan dan limbah pengolahan pangan cocok digunakan untuk bahan baku pembuatan biogas (*Yokoyama, 2008*).

Biogas dapat diproduksi dari bahan organik dengan bantuan bakteri untuk proses fermentasi anaerob. Pada umumnya hampir semua bahan organik dapat diolah menjadi biogas. Untuk biogas sederhana, bahan organik yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah dari kotoran dan urine hewan. (*Suyitno, 2010*).

Biogas berasal dari hasil fermentasi bahan-bahan organik diantaranya:

- Limbah tanaman: tebu, rumput-rumputan, jagung, gandum, dan lain-lain.
- Limbah dan hasil produksi: minyak, *bagasse*, penggilingan padi, limbah sagu.
- Hasil sampling industri: tembakau, limbah pengolahan buah-buahan dan sayuran. dedak, kain dari tekstil, ampas tebu dari industri gula dan tapioka, limbah cair industri tahu.
- Limbah perairan: alga laut, tumbuh-tumbuhan air.
- Limbah peternakan: kotoran sapi, kotoran kerbau, kotoran kambing kotoran unggas.

(*Abshami, 2014*)

II.2.3 Proses Pembentukan Biogas

Prinsip pembuatan biogas adalah adanya dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan gas yang sebagian besar adalah berupa gas metan (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbondioksida, gas inilah yang disebut biogas (*Abshami, 2014*).



Perlakuan biologi yang biasanya digunakan untuk pengolahan limbah padat adalah proses anaerobik. Proses anaerobik dilakukan di dalam sebuah tangki pencernaan (*digester*), dengan keuntungan antara lain adalah pengurangan masa organik, menghasilkan biogas sebagai sumber energi substitusi bahan bakar minyak, dan lumpur (*sludge*) yang dihasilkan dapat langsung digunakan layaknya pupuk kompos. Sampai saat ini, teknologi proses anaerobik ini kebanyakan masih menggunakan kotoran hewan sebagai bahan isian *digester*. Di sisi lain masih terdapat beberapa material lain yang potensial sebagai bahan isian, di antaranya adalah *bagasse* atau ampas tebu (*Saputra, 2010*).

Proses fermentasi dalam *digester* sendiri berlangsung secara alami. Mikroba (bakteri) yang berfungsi untuk menguraikan bahan organik juga dapat terbentuk secara alami asalkan kondisi *digester* terpenuhi untuk tumbuhnya bakteri tersebut. Ciri fisik yang terlihat dari terjadinya proses fermentasi alami adalah terbentuknya gelembung pada permukaan air (*Suyitno, 2010*).

Mikroorganisme anaerobik membutuhkan unsur karbon (C) sebagai sumber utama energi dan pembentukan karbon sel, untuk menghasilkan asam lemak volatil, gas metan (CH_4) dan CO_2 . Mikroorganisme anaerobik juga membutuhkan unsur nitrogen (N) yang diperlukan untuk hidup dan pembelahan sel (*Saputra, 2010*).

Secara umum, proses anaerob terdiri dari empat tahap yakni hidrolisis, pembentukan asam, pembentukan asetat dan pembentukan metana. Proses anaerob dikendalikan oleh dua golongan mikroorganisme (hidrolitik dan metanogen). Bakteri hidrolitik memecah senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa sederhana diuraikan oleh bakteri penghasil asam (*acid forming bacteria*) menjadi asam lemak dengan berat molekul rendah seperti asam asetat dan asam butirat. Selanjutnya bakteri metanogenik mengubah asam-asam tersebut menjadi metana (*Abshami, 2014*).



Sebenarnya penguraian bahan organik dengan proses anaerobik mempunyai reaksi yang begitu kompleks dan mungkin terdiri dari ratusan reaksi yang masing-masing mempunyai mikroorganisme dan enzim aktif yang berbeda. Penguraian dengan proses anaerobik secara umum dapat disederhanakan menjadi 2 tahap:

1. Tahap pembentukan asam
2. Tahap pembentukan metana

Proses pembentukan asam dan gas metana dari suatu senyawa organik sederhana melibatkan banyak reaksi percabangan. Mosey (1983) yang menggunakan glukosa sebagai sampel untuk menjelaskan bagaimana peranan keempat kelompok bakteri tersebut menguraikan senyawa ini menjadi gas metana dan karbondioksida sebagai berikut :

1. Reaksi Hidrolisa
$$(C_6H_{10}O_5)_n + 2n(H_2O) \rightarrow n(C_6H_{12}O_6)$$
2. Reaksi Pengasaman
$$n(C_6H_{12}O_6) \rightarrow 2n(C_2H_5OH) + 2n(CO_2)$$
$$2n(C_2H_5OH) + n(CO_2) \rightarrow 2n(CH_3COOH) + n(CH_4)$$
3. Reaksi Methanogenik
$$2n(CH_3COOH) \rightarrow 2n(CH_4) + n(CO_2)$$

(Haryati, 2006)

II.3 Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu (*Bagasse*) sebagai Penghasil Biogas

Tebu (*Saccharum officinarum*) adalah jenis tanaman penghasil gula dan hanya tumbuh di daerah yang memiliki iklim tropis. Pada penggilingan batang tebu menjadi gula menghasilkan beberapa limbah padat diantaranya *bagasse* dan blotong. *Bagasse* atau ampas tebu merupakan sisa penggilingan tebu berupa serpihan lembut serabut batang tebu yang diperoleh dalam jumlah besar. Rendemen *bagasse* mencapai sekitar 30-40% dari jumlah bobot tebu yang masuk ke penggilingan. Sedangkan blotong dihasilkan dari proses pemurnian nira dengan jumlah sekitar 3,8% dari bobot tebu. (Andes, 2012).



Sampai saat ini, teknologi proses anaerobik kebanyakan masih menggunakan kotoran hewan sebagai bahan isian digester. Di sisi lain masih terdapat beberapa material lain yang potensial sebagai bahan isian, di antaranya adalah *bagasse*. Proses anaerobik adalah proses mikrobiologi. Mikroorganisme anaerobik membutuhkan unsur karbon (C) sebagai sumber utama energi dan pembentukan karbon sel, untuk menghasilkan asam lemak volatil, gas metan (CH_4) dan CO_2 . Mikroorganisme anaerobik juga membutuhkan unsur nitrogen (N) yang diperlukan untuk hidup dan pembelahan sel. (Saputra, 2010)

Tabel II.2 Komposisi Ampas Tebu

| Parameter | Ampas Tebu (%) |
|--------------|----------------|
| Selulosa | 50 |
| Hemiselulosa | 25 |
| Lignin | 25 |
| Nitrogen | 0,21 |
| Karbon | 38,620 |
| C/N ratio | 160,92 |
| Fosfor | 1,755 |
| Kalium | 0,119 |
| Kalsium | 0,385 |
| Besi | 0,097 |
| Aluminium | 0,068 |
| Mangan | <0,0000017 |
| Magnesium | 0,047 |
| Kadar Air | 17,35 |

Sumber: (Andes, 2012)

Ampas tebu yang memiliki komponen serat dan selulosa yang cukup besar terukur dari kandungan bahan organik dan karbon yang cukup tinggi. Dari karakteristik ampas tebu tersebut diharapkan dapat membuat kondisi yang ideal untuk mikroorganisme pendegradasi yang memerlukan karbon sebagai sumber energi dan nitrogen yang cukup untuk sintesis protein (Andes, 2012).



Ampas tebu (*Bagasse*) adalah limbah pertanian yang kaya unsur C. *Bagasse* memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi dan daya cerna yang rendah sehingga tidak baik dan kurang berpotensi jika dimanfaatkan sebagai pakan ternak. *Bagasse* sangat potensial digunakan sebagai bahan isian *digester* untuk menghasilkan biogas. Berbagai penelitian telah dilakukan dan dapat membuktikan bahwa *bagasse* dapat dijadikan sebagai bahan campuran isian *digester* untuk menghasilkan biogas, seperti penelitian yang dilakukan oleh Pound *et al.* (1981); dan Kivaisi dan Eliapenda (1995) (Saputra, 2010)



Gambar II.1 *Bagasse* atau Ampas Tebu

II.4 Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Gula Merah

Limbah cair yang digunakan diperoleh dari proses pembuatan gula merah rakyat diperoleh dari CV. Bolodewo di Kecamatan Wates Kabupaten Kediri, Jawa Timur. Tebu yang dibutuhkan untuk proses pembuatan gula merah sebanyak 2 ton per hari dan limbah cair yang dihasilkan sebanyak 1500 liter per hari. Dari hasil analisa limbah cair tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel II.3 Hasil Analisa Limbah Cair Gula Merah

| Hasil Analisa | Jumlah |
|---------------|--------------|
| COD | 31.107 ppm |
| pH | 4,52 |
| Densitas | 1,0236 gr/ml |
| Viskositas | 2,3414 poise |
| Kadar Air | 92,23 % |



Gambar II.2 Limbah Cair Gula Merah

II.5 Kandungan Kimia dan Biologi pada Kotoran Sapi

Upaya mewujudkan ketahanan energi tidak dapat dilepaskan dari isu-isu lingkungan baik lokal maupun global. Persoalan lingkungan pada tingkat lokal dari adanya peternakan adalah timbulnya pencemaran udara yang muncul dari kotoran ternak salah satunya kotoran sapi. Pengembangan biogas yang berbahan baku kotoran sapi merupakan salah satu alternatif penyediaan energi di tingkat lokal, namun memiliki kontribusi terhadap pengurangan persoalan lingkungan yang bersifat lokal maupun global. Pada tingkat lokal, pengembangan biogas dapat mengurangi terjadinya pencemaran udara dan pencemaran air sungai. Pada tingkat global, pengembangan biogas memberikan kontribusi dalam mengurangi efek rumah kaca. Pemanfaatan kotoran sapi menjadi biogas diharapkan dapat memberikan nilai tambah pada usaha peternakan. (Setyawan, 2013).

**Gambar II.3** Kotoran Sapi untuk Biogas**Tabel II.4** Komposisi Biogas dari Bahan Baku Kotoran Sapi

| Jenis Gas | Kotoran Sapi |
|-------------------------------------------|--------------|
| Methana (CH_4) | 65,7 |
| Karbondioksida (CO_2) | 27,0 |
| Nitrogen (N_2) | 2,3 |
| Karbon Monoksida (CO) | 0 |
| Oksigen (O_2) | 0,1 |
| Propena (C_3H_8) | 0,7 |
| Hydrogen Sulfida (H_2S) | - |
| Nilai kalori (kkal/m^2) | 6531 |

Kotoran sapi mempunyai C/N ratio sebesar 16,6-25%. Produksi gas metan sangat tergantung oleh rasio C/N dari substrat. Rentang rasio C/N antara 25-30 merupakan rentang optimum untuk proses penguraian anaerob. Jika rasio C/N terlalu tinggi, maka nitrogen akan terkonsumsi sangat cepat oleh bakteri-bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan protein dan tidak akan lagi bereaksi dengan sisa karbonnya. Sebagai hasilnya produksi gas akan rendah. Di lain pihak, jika rasio C/N sangat rendah, nitrogen akan dibebaskan dan terkumpul dalam bentuk NH_4OH (Ludfia, 2012).

**Tabel II.5** Kandungan Kotoran Sapi Kering

| Komposisi Kotoran Sapi | Jumlah (%) |
|-------------------------------|-------------------|
| Hemisellulosa | 18,6 |
| Sellulosa | 25,2 |
| Lignin | 20,2 |
| Nitrogen | 1,67 |
| Fosfat | 1,11 |
| Kalium | 0,56 |

Secara umum bakteri yang terdapat di dalam kotoran sapi mempunyai sifat yang heterotrop, yaitu bakteri yang memerlukan sumber karbon dalam bentuk senyawa organik, hal ini diduga karena di dalam kotoran sapi perah terdapat bahan organik yang cukup besar. Identifikasi bakteri menurut Ellin Harlia dan Denny Suryanto tahun 2011, jumlah bakteri pada kotoran sapi secara kuantitatif berjumlah $2,54 \times 10^7$ sel cfu/g dengan rasio C/N kotoran sapi sebesar 35, sedangkan identifikasi secara kualitatif meliputi bakteri *Methanobacterium formicum*, *Methanobacterium mobilis*, *Methanobacterium propionicum*, *Methanobacterium ruminantium*, *Methanobacterium soehngeni*, *Methanobacterium suboxydans*, *Methanococcus mazei*, *Methanobacterium vannielii*, *Methanosarcina barkeri*, dan *Methanobacterium methanica*. (Renzo, 1977)

II.6 Manfaat dari Pembuatan Biogas

Produk utama dari biogas adalah gas metan yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung kehidupan masyarakat. Manfaat biogas yang tidak secara langsung adalah menjaga kelestarian lingkungan hidup dan konservasi sumberdaya alam, dan lain-lain. Secara lebih rinci manfaat penggunaan biogas adalah sebagai berikut :

1. Manfaat Langsung :

- Sebagai sumber energi untuk skala rumah tangga

Biogas yang diproduksi oleh satu unit instalasi biogas dapat digunakan sebagai sumber energi bahan bakar dalam skala rumah tangga. Sebagai contoh bahan bakar gas atau kompor.



Gambar II.4 Aplikasi Biogas Skala Rumah Tangga

- Sebagai sumber energi untuk penerangan

Biogas sebagai sumber energi untuk penerangan dengan cara yang sama seperti pemanfaatan untuk memasak, artinya kompor sebagai titik akhir penggunaan biogas diganti dengan lampu. Lampu yang digunakan adalah lampu yang dirancang khusus atau lampu petromaks yang dimodifikasi.



Gambar II.5 Biogas Sebagai Sumber Energi Lampu

- Penghasil pupuk organik siap pakai

Manfaat lain dari penerapan biogas adalah dapat menyediakan pupuk organik siap pakai dalam jumlah banyak sesuai dengan kapasitas *digester* yang dibangun dan bahan baku yang digunakan. Kotoran ternak yang telah diproses dalam *digester* biogas dapat langsung digunakan sebagai pupuk organik, dan kaya akan kandungan unsur Nitrogen (N). Bahan baku biogas seperti kotoran ternak merupakan bahan organik yang



mempunyai kandungan Nitrogen (N) tinggi di samping unsur C, H, dan O. Selama proses pembuatan biogas, unsur C, H, dan O akan membentuk CH_4 dan CO_2 , dan kandungan N yang ada masih tetap bertahan dalam sisa bahan, yang akhirnya akan menjadi sumber N bagi pupuk organik (Abshami, 2014).



Gambar II.6 Sludge Biogas untuk Pupuk Organik

2. Manfaat Tidak Langsung

- Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca

Penerapan biogas dapat membantu pengembangan sistem pertanian dengan mendaur ulang kotoran hewan untuk memproduksi biogas dan diperoleh hasil samping berupa pupuk organik. Penerapan biogas dapat mengurangi emisi gas metan (CH_4) yang dihasilkan pada dekomposisi bahan organik yang diproduksi dari sektor pertanian dan peternakan, karena kotoran sapi tidak dibiarkan terdekomposisi secara terbuka melainkan difermentasi menjadi energi biogas.



Gambar II.7 Biogas Mengurangi Efek Rumah Kaca



- Meningkatkan sanitasi lingkungan dan keindahan.

Kotoran ternak dan limbah organik lainnya apabila tidak dikelola dengan baik dan berserakan dimana-mana, maka akan dapat mengganggu keindahan dan berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat di sekitarnya. Disamping itu, terdapat kemungkinan bahwa kotoran ternak banyak mengandung bakteri *Colly* yang membahayakan bagi kesehatan manusia dan lingkungannya. Dengan penerapan biogas, dampak negatif tersebut dapat dikurangi atau dihilangkan (Abshami, 2014).

II.6.1 Kandungan dan Komposisi Biogas

Biogas yaitu sumber renewable energy, yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti energi yang berasal dari fosil, yang selama ini dominan digunakan yaitu bahan bakar minyak dan gas alam. Teknologi biogas merupakan pilihan yang tepat untuk mengubah limbah organik peternakan untuk menghasilkan energi dan pupuk sehingga diperoleh keuntungan secara sosio-ekonomi maupun dari segi lingkungan. (Haryati, 2006)

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme pada kondisi langka oksigen (anaerob). Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2), dan beberapa kandungan yang jumlahnya kecil diantaranya hidrogen sulfida (H_2S) dan ammonia (NH_3) serta hidrogen dan (H_2), nitrogen yang kandungannya sangat kecil. Tetapi secara umum rentang komposisi biogas adalah sebagai berikut:

Tabel II.6 Komposisi Biogas

| Jenis Gas | Volume (%) |
|-------------------------------------------|------------|
| Metana (CH_4) | 55-75 |
| Karbondioksida (CO_2) | 25-45 |
| Nitrogen (N_2) | 0-0,3 |
| Hidrogen (H_2) | 1-5 |
| Hidrogen Sulfida (H_2S) | 0-3 |
| Oksigen (O_2) | 0,1-0,5 |



Berdasarkan komposisi gas dalam biogas, terlihat bahwa metana (CH_4) adalah gas yang memiliki kandungan paling tinggi dalam biogas. Metana inilah yang dimanfaatkan sebagai sumber energi. Metana termasuk gas yang menimbulkan efek rumah kaca yang menyebabkan terjadinya fenomena pemanasan global. Demikian pula dengan karbondioksida yang juga termasuk ke dalam gas rumah kaca. Metana memiliki dampak terhadap terjadinya efek rumah kaca 20 kali lebih tinggi dibandingkan karbondioksida. Pengurangan metana secara lokal dengan memanfaatkannya sebagai biogas dapat berperan positif dalam upaya mengatasi persoalan lingkungan global, yaitu efek rumah kaca yang berakibat pada pemanasan global dan perubahan iklim global (Setyawan, 2013)

Besarnya energi dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH_4) yang ada dalam biogas tersebut. Semakin tinggi konsentrasi metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil konsentrasi metana semakin kecil nilai kalor dari biogas (Agung, 2008).

Tabel II.7 Nilai Kalor Pembakaran Biogas dan Natural Gas

| Komponen | Heating Value | |
|------------------------------|-----------------------|-----------|
| | (Kkal/ m^3) | (Kkal/kg) |
| Hidrogen (H_2) | 2842,21 | 33903,61 |
| Karbon monoksida (CO) | 2811,95 | 2414,31 |
| Gas Metana (CH_4) | 8851,43 | 13265,91 |

Sumber: (Price, 1981)

**Tabel II.8** Karakteristik dari Metana dan CO₂

| Karakteristik konstan | Metana (CH₄) | Karbondioksida (CO₂) |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <i>Molecular weight</i> | 16,04 | 44,01 |
| <i>Specific gravity, Air=1°C</i> | 0,554 | 1,52 |
| <i>Boiling point @ 14,7 psia</i> | 259°F | 109,4°F |
| <i>Freezing point @ 14,7 psia</i> | -296,6°F | -69,9°F |
| <i>Specific volume</i> | 24,2 ft ³ /lb | 8,8 ft ³ /lb |
| <i>Critical Temperature</i> | 116°F | 88°F |
| <i>Critical Pressure</i> | 673 psia | 1,072 psia |
| <i>Heat capacity (Cp) @ 1 atm</i> | 0,540 Btu/lb°F | 0,205 Btu/lb°F |
| <i>Ratio Cp/Cv</i> | 1,307 | 1,303 |
| <i>Heat of combustion</i> | 1012 Btu/ft ³ 23,875 Btu/lb | |
| <i>Limit of Inflammability</i> | 5-15% <i>by volume</i> | |
| <i>Stoichiometry in Air</i> | 0,0947 <i>by volume</i> 0,0581 <i>by mass</i> | |

Sumber: (James L. Walsh, 1988)

Rasio ideal C/N untuk proses dekomposisi anaerob untuk menghasilkan metana adalah 25-30. Oleh karena itu, pada proses pencampuran bahan baku diusahakan memenuhi rasio ideal. Rasio C/N dari beberapa bahan organik dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel II.9** Rasio C/N untuk berbagai bahan organik

| Bahan Organik | N dalam % | C/N |
|----------------------|------------------|------------|
| Kotoran manusia | 6 | 5,9-10 |
| Kotoran Sapi | 1,7 | 16,6-25 |
| Kotoran babi | 3,8 | 6,2-12,5 |
| Kotoran ayam | 6,3 | 5-7,1 |
| Kotoran kuda | 2,3 | 25 |
| Kotoran domba | 3,8 | 33 |
| Jerami | 4 | 12,5-25 |
| Lucemes | 2,8 | 16,6 |
| Alga | 1,9 | 100 |
| Gandum | 1,1 | 50 |
| Serbuk jerami | 0,5 | 100-125 |
| Ampas tebu | 0,3 | 140 |
| Serbuk gergaji | 0,1 | 200-500 |
| Kol | 3,6 | 12,5 |
| Tomat | 3,3 | 12,5 |
| Mustard | 1,5 | 25 |
| Kulit kentang | 1,5 | 25 |
| Sekam | 0,6 | 67 |
| Bonggol jagung | 0,8 | 50 |
| Daun | 1 | 50 |
| Batang kedelai | 1,3 | 33 |
| Kacang toge | 0,6 | 20 |

Karbon dan nitrogen adalah sumber makanan utama bagi bakteri anaerob, untuk dapat tumbuh dan berkembang dengan baik, dimana karbon dibutuhkan untuk menyuplai energi dan nitrogen yang dibutuhkan untuk membentuk struktur sel bakteri. Rasio C/N adalah besaran yang menyatakan perbandingan jumlah atom karbon dibagi dengan atom nitrogen. Di dalam reaktor terdapat populasi mikroba yang memerlukan karbon dan nitrogen. Apabila nitrogen tidak tersedia dengan cukup, maka mikroba tidak dapat memproduksi enzim yang berguna untuk mencerna



karbon. Apabila nitrogen terlalu banyak maka pertumbuhan mikroba akan terganggu (Aelita, 2013).

II.7 Reaktor Biogas

Digester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. *Digester* merupakan tempat dimana material organik diurai oleh bakteri secara anaerob menjadi gas CH_4 dan CO_2 . Selama proses penguraian secara anaerob, komponen nitrogen berubah menjadi amonia, komponen belerang berubah menjadi H_2S , dan komponen fosfor berubah menjadi *orthophosphates*. Berikut adalah beberapa tujuan pembuatan *digester*:

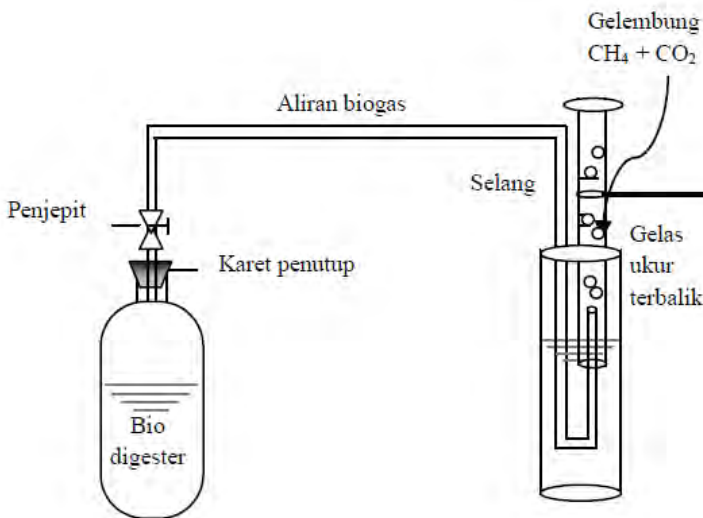
1. Mengurangi jumlah padatan. Karena padatan terurai menjadi gas dan tidak semua padatan dapat terurai, maka tujuan dari proses *digestion* adalah mengurangi jumlah padatan.
2. Membangkitkan energi. Target utama dari proses *digestion* adalah menghasilkan gas CH_4 . Semakin besar kandungan CH_4 dalam biogas, semakin besar kandungan energi dalam biogas.
3. Mengurangi bau dan kotoran. Biogas dapat ditujukan untuk mengurangi bau dan bukan menghilangkan bau dari kotoran. Setidaknya dengan pembuatan *digester*, bau dari kotoran yang dihasilkan selama proses *digestion* dapat diarahkan supaya tidak mengganggu kenyamanan hidup manusia.
4. Menghasilkan air buangan yang bersih. Sebagian air setelah proses *digestion* harus dikeluarkan. Bersihnya air buangan ini menjadi sangat penting jika akan digunakan untuk irigasi. Sebagian air buangan juga dapat dikembalikan lagi ke dalam *digester*.
5. Menghasilkan padatan yang mengandung bahan gizi untuk pupuk. Padatan yang tidak terurai menjadi gas dapat dimanfaatkan sebagai pupuk asalkan masih mengandung bahan gizi yang baik. Padatan yang dihasilkan juga harus dijaga dari zat-zat berbahaya



(Suyitno, 2010).

Proses pembuatan biogas dengan menggunakan *digester* pada prinsipnya adalah menciptakan suatu sistem kedap udara dengan bagian-bagian pokok yang terdiri dari tangki pencerna (*digester tank*), lubang input bahan baku, lubang *output* lumpur sisa hasil pencernaan (*slurry*) dan lubang penyaluran biogas yang terbentuk. Dalam *digester* terkandung bakteri metana yang akan mengolah limbah organik menjadi biogas.

Dari segi operasional reaksi yang digunakan, *digester* yang digunakan adalah tipe *batch digestion*. Pada tipe ini bahan baku dimasukkan ke dalam *digester*, kemudian dibiarkan bereaksi selama 6-8 minggu. Biogas yang dihasilkan ditampung dan disimpan dalam penampung gas. Setelah itu *digester* dikosongkan dan dibersihkan sehingga siap untuk dipakai lagi. Kelebihan tipe ini adalah kualitas hasilnya bisa lebih stabil karena tidak ada gangguan selama reaksi berjalan. Namun untuk skala industri, tipe ini tidak efektif dan mahal karena membutuhkan minimal dua buah *digester* yang dipakai bergantian agar dapat memproduksi biogas secara kontinyu (Herlina, 2010).



Gambar II.8 Batch Digestion



Pada *digester* tipe *batch*, bahan baku ditempatkan di dalam suatu wadah dari sejak awal hingga selesainya proses *digestion*. *Digester* jenis ini umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik atau digunakan pada kapasitas biogas yang kecil (Suyitno, 2010). Beberapa keuntungan kenapa *digester* anaerobik lebih banyak digunakan antara lain :

1. Keuntungan pengolahan limbah
 - a. *Digester* anaerobik merupakan proses pengolahan limbah yang alami.
 - b. Membutuhkan lahan yang lebih kecil dibandingkan dengan proses kompos aerobik ataupun penumpukan sampah.
 - c. Memperkecil volume atau berat limbah yang dibuang.
 - d. Memperkecil rembesan polutan.
2. Keuntungan energi
 - a. Proses produksi energi bersih.
 - b. Memperoleh bahan bakar berkualitas tinggi dan dapat diperbaharui.
 - c. Biogas dapat dipergunakan untuk berbagai penggunaan.
3. Keuntungan lingkungan.
 - a. Menurunkan emisi gas metan dan karbon dioksida secara signifikan.
 - b. Menghilangkan bau.
 - c. Menghasilkan kompos yang bersih dan pupuk yang kaya nutrisi.
 - d. Memaksimalkan proses daur ulang.
 - e. Menghilangkan bakteri *coliform* sampai 99% sehingga memperkecil kontaminasi sumber air.

(Haryati, 2006).

II.8 Aplikasi Biogas di Masyarakat

Sumber energi alternatif yang mulai dikenal masyarakat luas saat ini adalah biogas. Salah satu aplikasi penggunaan biogas



di masyarakat ialah Koperasi Peternakan Sapi Perah (KPSP) Setia Kawan di Desa Wonosari, Kecamatan Tuttur, Nongkojajar, Kabupaten Pasuruan. KPSP Setia Kawan bergerak di bidang produksi susu segar, dengan jumlah sapi sebanyak 18.200 ekor. Bahan baku biogas didapatkan dari kotoran sapi yang dihasilkan sebanyak 20-30 kg per ekor/hari. Dengan jumlah sapi dan kotoran sapi yang dihasilkan lumayan banyak, sehingga memiliki potensi untuk diproses menjadi biogas (*Hariyanto, 2015*).



Gambar II.9 KPSP Setia Kawan di Nongkojajar dan Peternakan Sapi

Penggagas biogas di Nongkojajar adalah Bapak Hariyanto. Dikembangkan sejak tahun 1989 dan sudah terbangun 1350 unit biogas. Pengembangan biogas di Nongkojajar meliputi bidang wirausaha (usaha warung makanan dan minuman), bidang pertanian (usaha pupuk organik), bidang perdagangan (toko bangunan dan toko bahan pendukung biogas), dan bidang ketenagakerjaan (jasa pengangkutan dan pengolahan biogas). (*Hariyanto, 2015*).



Gambar II.10 Hasil Biogas Digunakan Untuk Sumber Energi

Biogas yang dihasilkan di Nongkojajar digunakan sebagai sumber energi diantaranya bahan bakar gas atau kompor, sebagai sumber penerangan, dan listrik. Selain itu limbah atau *sludge* biogas digunakan sebagai pupuk organik (Hariyanto, 2015).



Gambar II.11 Pupuk Organik dari Limbah Biogas



Gambar II.12 Biogas sebagai Bahan Bakar Gas



Gambar II.13 Biogas sebagai Sumber Penerangan

BAB III

METODOLOGI PEMBUATAN PRODUK

III.1 Tahap Pelaksanaan

1. Persiapan Bahan Baku
2. Tahap Percobaan
3. Tahap Analisa

III.2 Bahan yang Digunakan

1. Aquades
2. Asam sulfat (H_2SO_4) 2 N
3. Larutan asam oksalat ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) 0,01 N
4. Larutan KMnO_4 1 N
5. Limbah Cair Pabrik Gula Merah
6. Kotoran Sapi
7. Ampas Tebu
8. Urea
9. SP 36

III.3 Pealatan yang Digunakan

1. *Beaker glass*
2. Reaktor *batch*
3. Biuret dan statif
4. Cawan
5. Corong
6. Erlenmeyer
7. Gelas ukur
8. Pipet tetes
9. Timbangan elektrik
10. Termometer
11. *Hot Plate*



12. Pendingin *liebig* 30 cm

13. Desikator

14. Oven

III.4 Variabel yang Dipilih

- Rasio COD:N:P
 - a. 250:3:1
 - b. 250:4:1
 - c. 250:5:1
 - d. 250:7:1

III.5 Prosedur Percobaan

III.5.1 Tahap Persiapan Bahan Baku Biogas

III.5.1.1 Limbah Cair Pabrik Gula Merah

1. Menyiapkan limbah cair pabrik gula merah
2. Menyaring limbah cair pabrik gula merah dari pengotornya
3. Menyimpan limbah cair pabrik gula merah pada suhu ruang 25 °C sebelum digunakan

III.5.1.2 Kotoran Sapi

1. Mengambil kotoran sapi yang masih segar dengan skup
2. Mewadahi kotoran sapi yang masih segar dalam sebuah *plastic bag*
3. Menyimpan kotoran sapi yang masih segar pada suhu ruang 25 °C sebelum digunakan

III.5.1.3 Ampas Tebu

1. Menyiapkan limbah Ampas Tebu
2. Mengeringkan limbah ampas tebu pada suhu 105°C selama 30 menit
3. Menggiling ampas tebu yang akan digunakan sebesar 120 mesh
4. Menimbang ampas tebu yang dibutuhkan sebanyak 100 gr



5. Menyimpan limbah ampas tebu sebelum digunakan dalam suhu ruang

III.5.2 Tahap Pembuatan Variabel

1. Menyiapkan Urea dan SP36 dengan cara dihaluskan terlebih dahulu
2. Menimbang urea sebanyak :
 - 2,43 gram untuk variabel 250:3:1;
 - 3,24 gram untuk variabel 250:4:1;
 - 4,05 gram untuk variabel 250:5:1; dan
 - 5,68 gram untuk variabel 250:7:1
3. Menimbang super phosphate 36 sebanyak 1,03 gram untuk masing-masing variabel
4. Mencampurkan Urea dan SP36 sesuai masing-masing variable.

III.5.3 Tahap Pembuatan Biogas

1. Mengukur limbah pabrik gula merah hingga volume 1000 ml.
2. Menambahkan kotoran sapi sebanyak 1 kg dan ampas tebu yang sudah digiling sebanyak 100 gram.
3. Menambahkan urea 2,43 gr dan fosfat 1,03 gr untuk variabel 250:3:1, mengaduknya hingga homogen kemudian memasukkan ke dalam botol fermentor.
4. Menutup dengan rapat, kemudian menambahkan selang pada tutup reaktor sebagai aliran gas dan menyalurkannya ke dalam penampung.
5. Mengamati volume gas yang telah dihasilkan dalam rentang waktu 72 jam.
6. Mengulangi prosedur dari no 1-5 untuk biogas dengan variabel rasio perbandingan COD:N:P yang lain.



III.5.3.1 Analisa COD Limbah Cair

1. Mengambil 10 ml larutan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,01 N dan 5 ml H_2SO_4 2 N, memasukkan campuran 10 ml larutan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,01 N dan 5 ml H_2SO_4 kedalam Erlenmeyer.
2. Panaskan campuran tersebut sampai 70-80 °C
3. Menitrasi campuran dengan larutan KMnO_4 sedikit demi sedikit sampai berubah warna menjadi merah anggur.
4. Mencatat kebutuhan titran sebagai a ml
5. Mengambil air limbah sebanyak 1 ml, kemudian diencerkan menjadi 10 ml, lalu memasukkan air limbah ke dalam erlenmeyer
6. Menambahkan 5 ml H_2SO_4 2 N ke dalam Erlenmeyer dan larutan KMnO_4 hasil standarisasi sebanyak a ml, dipanaskan hingga mendidih selama 10 menit.
7. Tambahkan 10 ml $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,01 N pertahankan pada suhu 70-80 °C
8. Menitrasi dengan larutan KMnO_4 standar sampai tercapai titik titrasi (b ml)
9. Menghitung nilai COD sebagai berikut :

$$\text{COD (mg/L O}_2\text{)} = \frac{((a+b) \cdot N_{\text{KMnO}_4} - (V \cdot N)_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}) \times 8000}{\text{ml contoh uji}}$$

Keterangan :

A = Volume larutan KMnO_4 yang dibutuhkan untuk standarisasi (ml)

B = Volume larutan KMnO_4 yang dibutuhkan untuk menitrasi limbah cair (ml)

N_{KMnO_4} = Normalitas KMnO_4

$N_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}$ = Normalitas $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$



III.5.3.2 Pengukuran Volume Biogas

1. Mengukur volume gas awal yang dihasilkan pada jam ke dua di dalam penampung biogas sebagai (v_0).
2. Mengukur penambahan volume gas pada jam berikutnya di dalam penampung biogas sebagai (v_1).
3. Menghitung volume biogas (Δv) setiap 2 jam sekali selama 72 jam, dengan rumus:

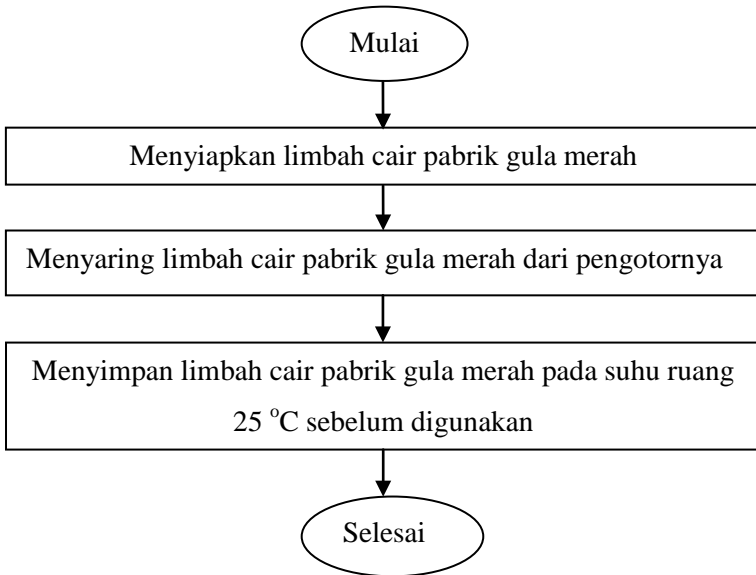
$$\Delta v = v_1 - v_0$$

4. Mengulangi percobaan no. 1-3 pada sampel biogas dengan variabel rasio perbandingan COD:N:P yang lain.

III.6 Tempat Pelaksanaan

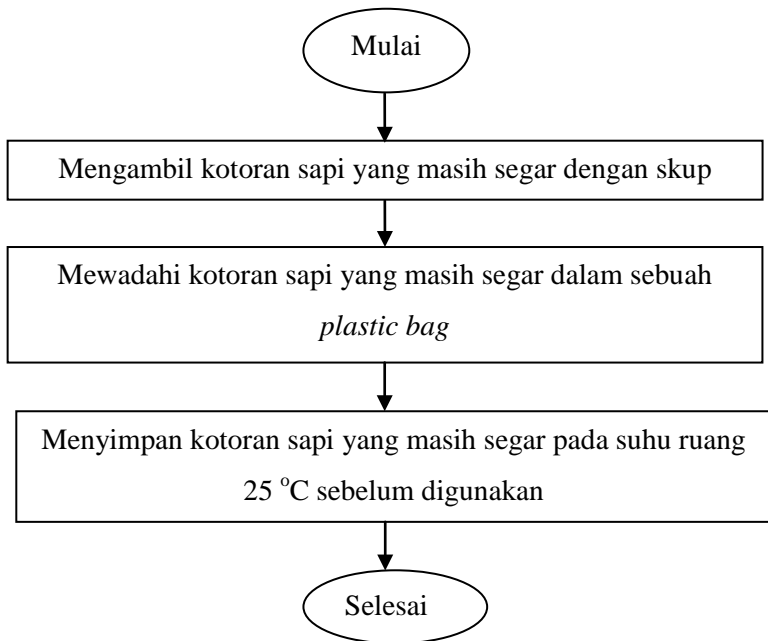
Percobaan produksi biogas dengan limbah pabrik gula merah pada proses anaerobik digestion dilaksanakan di :

1. Laboratorium Utilitas DIII Teknik Kimia FTI ITS

**III.7 Diagram Alir Percobaan****III.7.1 Tahap Persiapan Bahan Baku Biogas****III.7.1.1 Limbah Cair Pabrik Gula Merah**

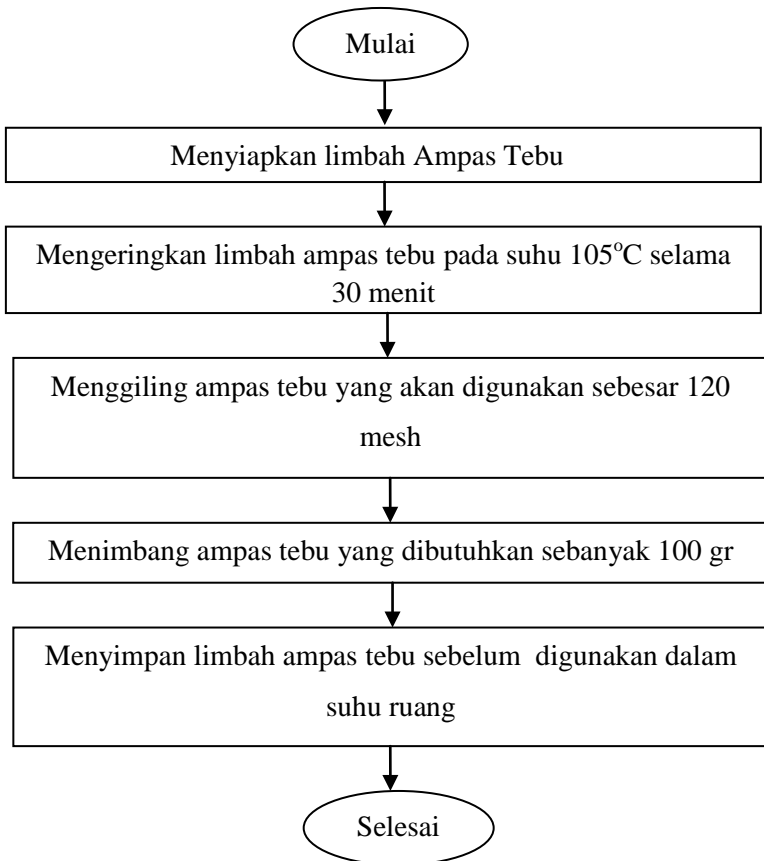


III.7.1.2 Kotoran Sapi



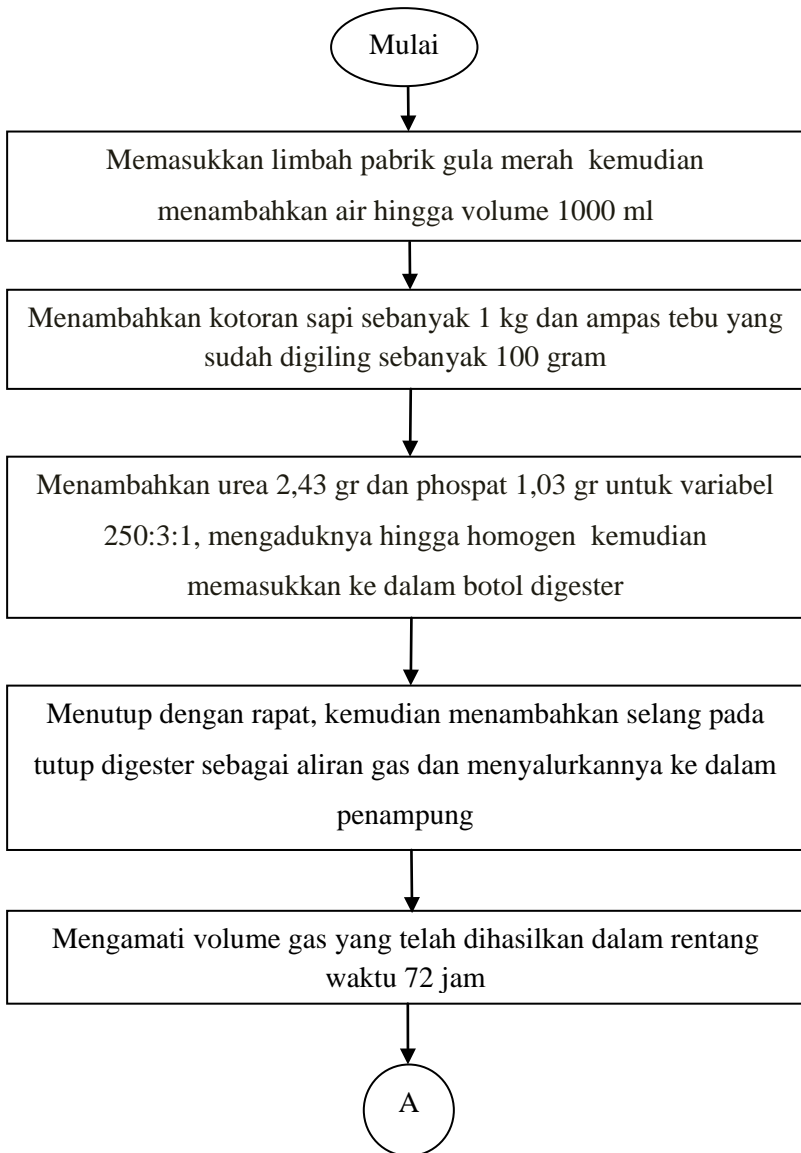


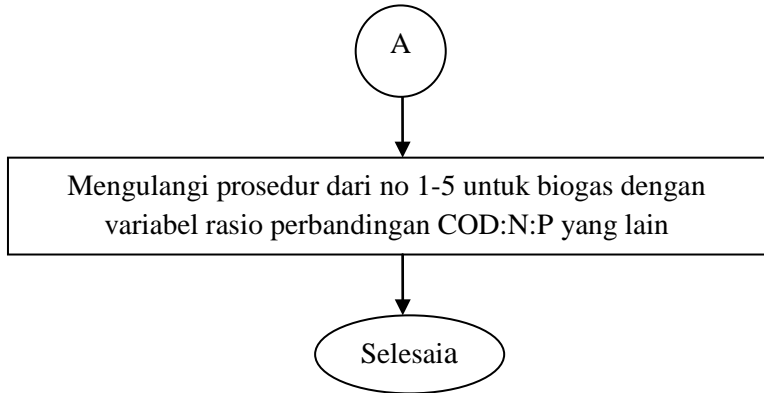
III.7.1.3 Ampas Tebu



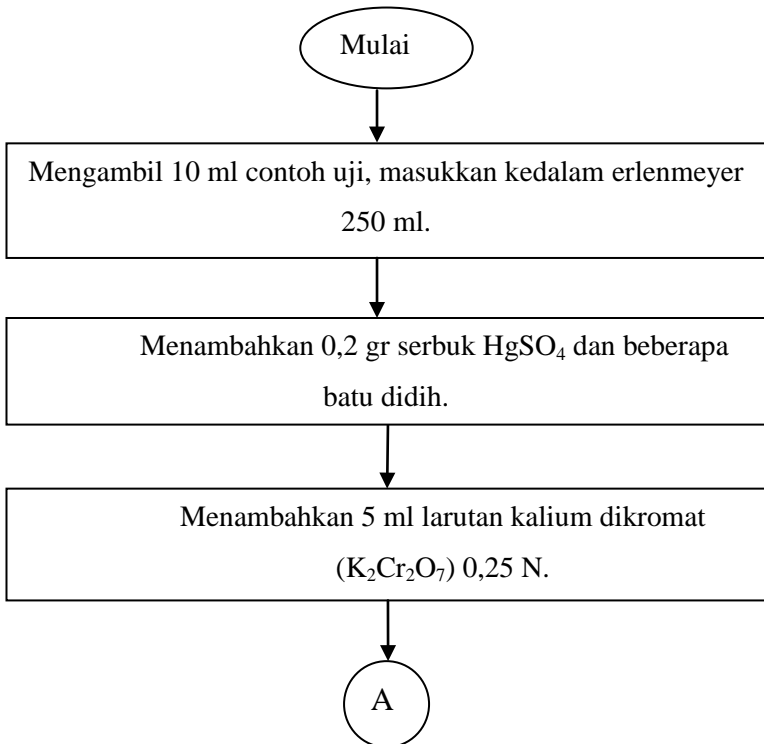


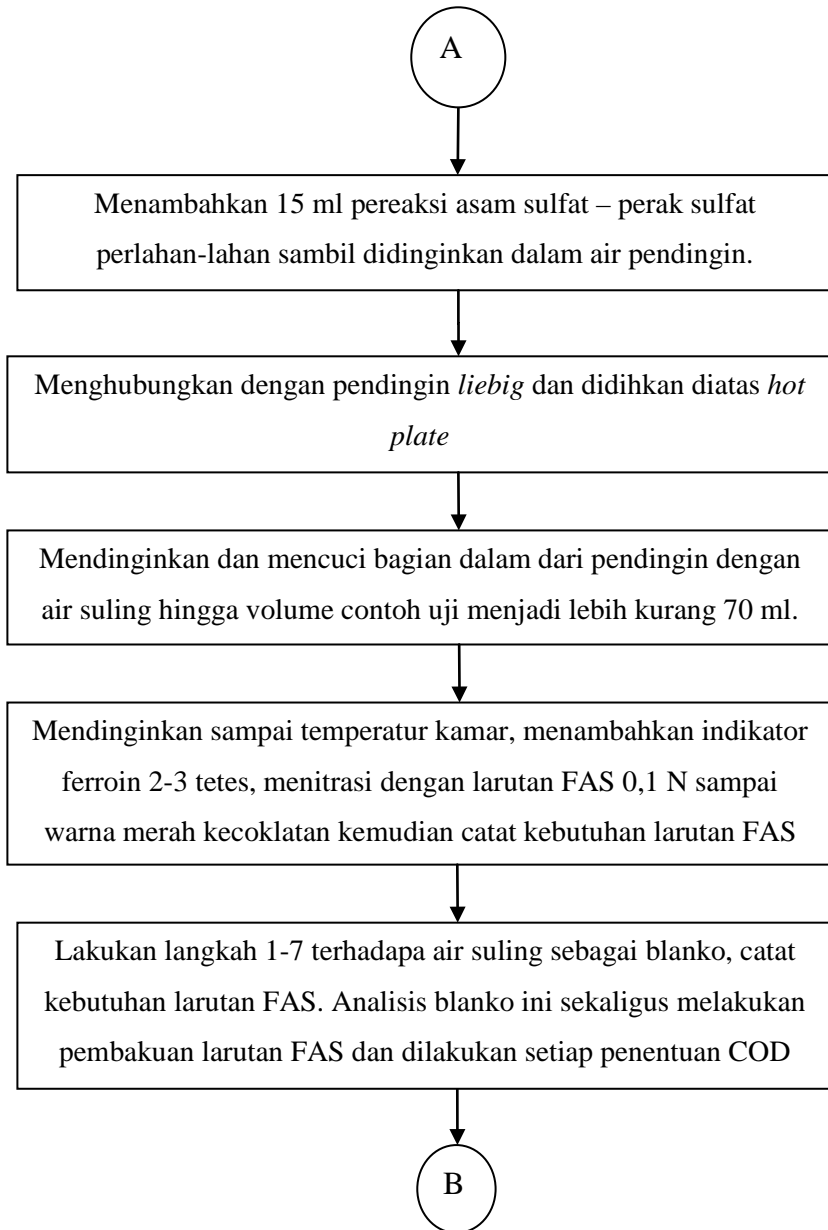
III.7.2 Proses Pembuatan Biogas

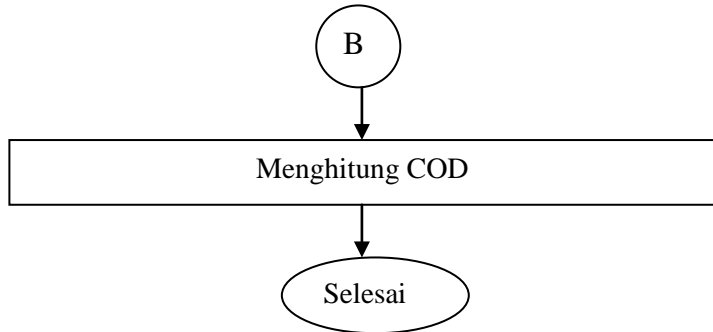




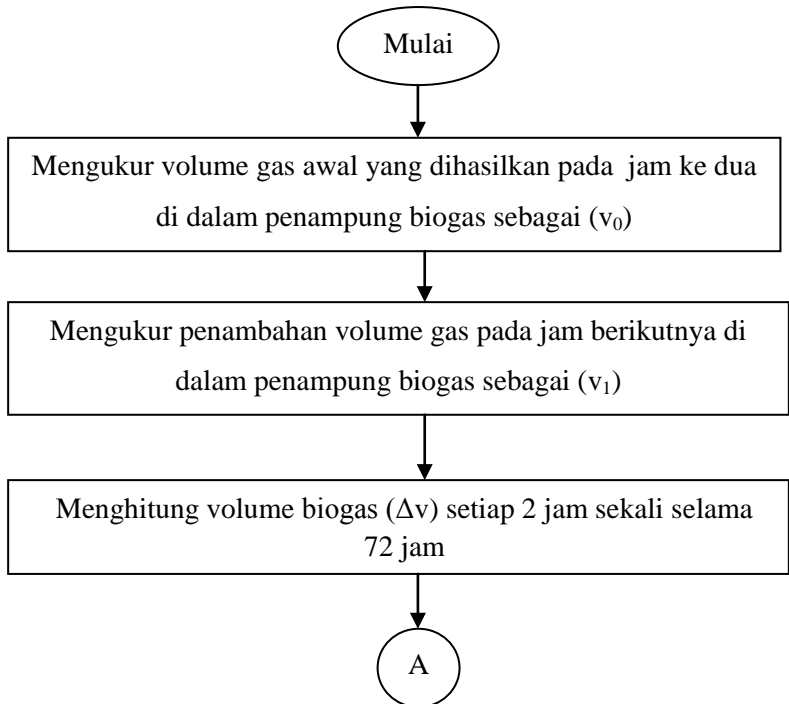
III.7.2.1 Analisa COD Limbah Cair

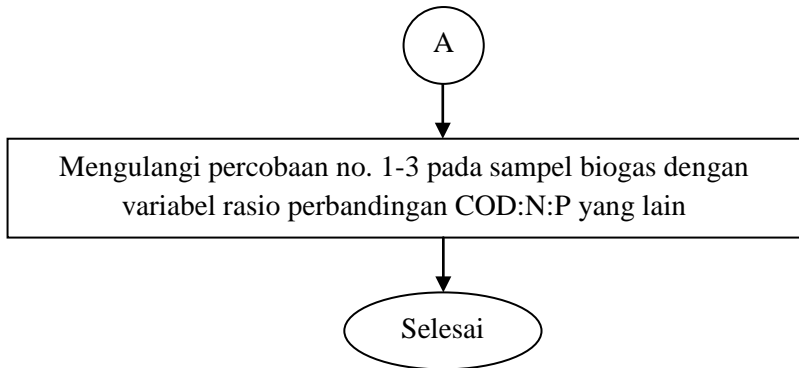






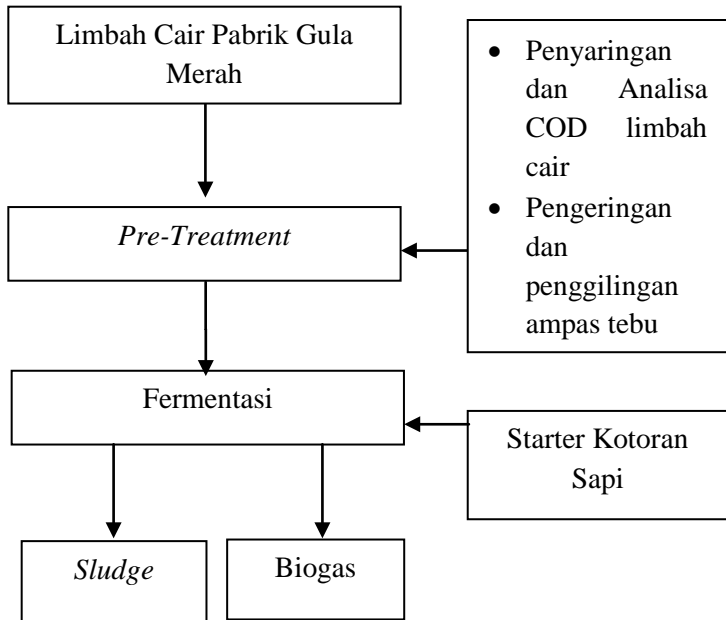
III.7.2.2 Pengukuran Volume Biogas





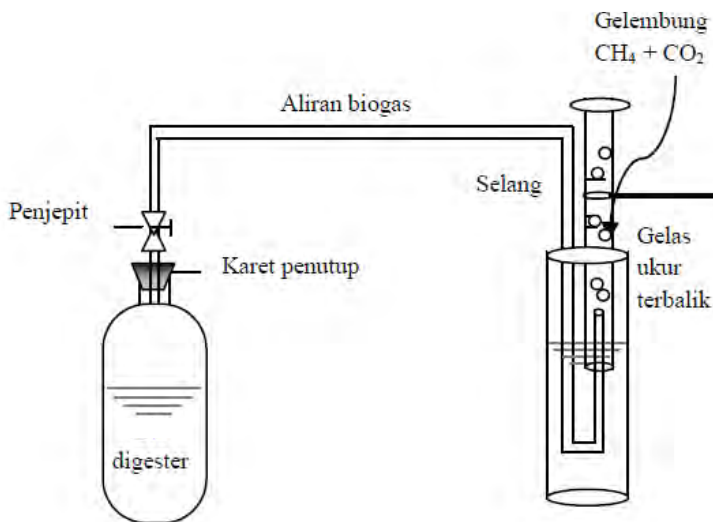


III.8 Diagram Blok Pembuatan Biogas





III.9 Sketsa Alat



III.10 Visualisasi Sketsa Alat



III.11 Gambar Penelitian**III.11.1 Gambar Penelitian Tahap Pretreatmen Bahan Baku Substrat Ampas Tebu**

Ampas Tebu



Ampas Tebu setelah digiling dan diayak



Menimbang ampas tebu sebanyak 100 gr



Ampas Tebu dikeringkan dalam oven 105°C selama 30 menit



III.11.2 Gambar Penelitian Tahap Percobaan



Kotoran Sapi yang sudah dicampur air dengan perbandingan 1:1



Menyiapkan ampas tebu (120 mesh) sebagai substrat



Menyiapkan urea dan fosfat



Menyiapkan limbah gula merah

A

A



Mencampur ampas tebu, limbah gula merah, urea dan phospat.



Memasukkan semua campuran kedalam digester



Merangkai Alat sesuai dengan sketsa



Menutup digester dengan rapat

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat bermanfaat. Antara lain dapat memanfaatkan limbah cair gula merah serta menaikkan nilai jual dari limbah cair pabrik gula merah dan memanfaatkan limbah pertanian yaitu ampas tebu dimanfaatkan dan diolah menjadi gas sebagai bahan bakar.

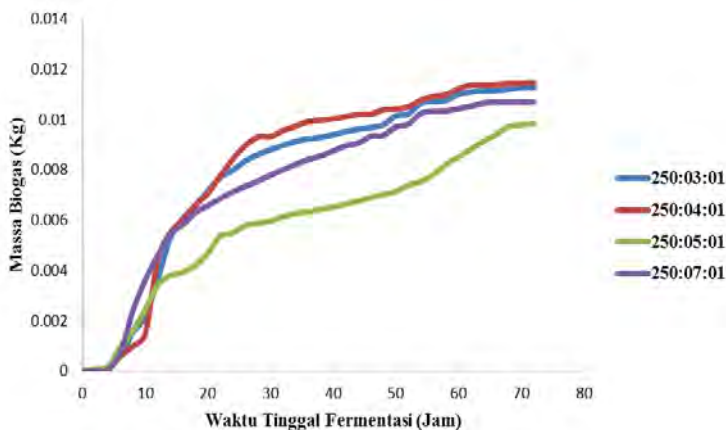
Masing-masing variabel rasio COD:N:P 250:3:1, 250:4:1, 250:5:1 dan 250:7:1 memiliki hasil yang berbeda-beda pula. Dari keempat variabel diperoleh satu variabel yang paling optimum menghasilkan biogas. Hasil penelitian akan dibahas pada sub-bab pembahasan dan disajikan dalam bentuk grafik maupun tabel.



IV.1.1. Hasil Penelitian Pembuatan Biogas

Tabel IV.1 Hasil Massa Akumulatif Variabel Penelitian

| Nomor | Waktu (jam) | Massa Akumulatif Variabel (kg) | | | |
|-------|-------------|--------------------------------|----------|----------|----------|
| | | 250:3:1 | 250:4:1 | 250:5:1 | 250:7:1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 6 | 0,000561 | 0,000571 | 0,000927 | 0,000712 |
| 3 | 14 | 0,005272 | 0,005488 | 0,003795 | 0,005434 |
| 4 | 22 | 0,007698 | 0,007757 | 0,005369 | 0,006857 |
| 5 | 30 | 0,008797 | 0,009320 | 0,005951 | 0,007784 |
| 6 | 38 | 0,009288 | 0,009978 | 0,006426 | 0,008549 |
| 7 | 46 | 0,009681 | 0,010215 | 0,006889 | 0,009336 |
| 8 | 54 | 0,010652 | 0,010765 | 0,007525 | 0,010242 |
| 9 | 62 | 0,011094 | 0,011369 | 0,008819 | 0,010528 |
| 10 | 72 | 0,011272 | 0,011460 | 0,009822 | 0,010689 |



Grafik IV.1 Hubungan Antara Waktu Tinggal Fermentasi (Jam) dengan Massa Gas Akumulatif yang dihasilkan (kg) pada *Digester* Skala *Batch*



Pada **Grafik IV.1** terdapat 4 variabel pembuatan biogas yaitu variabel rasio COD:N:P 250:3:1 yang diwakili oleh garis berwarna biru, rasio COD:N:P 250:4:1 yang diwakili oleh garis berwarna merah, rasio COD:N:P 250:5:1 yang diwakili oleh garis berwarna hijau dan rasio COD:N:P 250:7:1 yang diwakili oleh garis berwarna hijau. Pada **Grafik IV.1** dibuat berdasarkan waktu tinggal fermentasi vs massa biogas sehingga dapat dilihat terbentuknya massa biogas dari jam ke jam. Semakin bertambahnya waktu tinggal fermentasi maka semakin meningkat pertambahan biogas, hingga pada jam tertentu biogas sudah tidak terbentuk lagi.

Waktu pengamatan pada penelitian ini selama 72 jam yang hasil biogasnya diamati setiap 2 jam sekali. Peningkatan biogas yang paling signifikan dari keempat variabel rasio COD:N:P yaitu 250:3:1, 250:4:1, 250:5:1, 250:7:1 terjadi pada jam ke 20 hingga 30, kemudian pada jam 31 hingga 72 penambahan biogas tetap berlanjut hingga konstant. Pembentukan biogas yang paling baik dihasilkan oleh variabel rasio COD:N:P 250:4:1

Tabel IV.2 Ringkasan Massa Akumulatif Biogas pada berbagai variabel penelitian

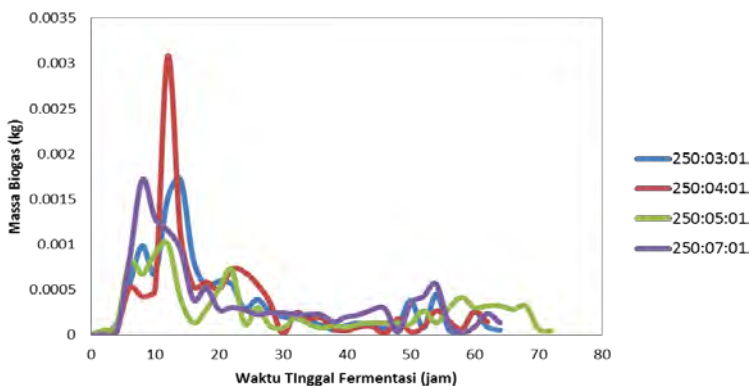
| Variabel Penelitian (COD : N : P) | Massa Akumulatif Biogas (gr) |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| 250 : 3 : 1 | 11,2715 |
| 250 : 4 : 1 | 11,4602 |
| 250 : 5 : 1 | 9,8215 |
| 250 : 7 : 1 | 10,6894 |

Biogas yang dihasilkan pada variabel rasio COD:N:P 250:3:1 sebesar 11,2715 gr, Variabel rasio COD:N:P 250:4:1 sebesar 11,4602 gr, variabel rasio COD:N:P 250:5:1 sebesar 9,8215 dan variabel rasio 250:7:1 sebesar 10,6894.



Tabel IV.3 Hasil Non-Massa Akumulatif
Variabel Penelitian

| Nomor | Waktu | Massa Non-Akumulatif (kg) | | | |
|-------|-------|---------------------------|----------|----------|----------|
| | | 250:3:1 | 250:4:1 | 250:5:1 | 250:7:1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 2 | 0,000022 | 0 | 0,000056 | 0,000006 |
| 3 | 4 | 0,000123 | 0,000073 | 0,000101 | 0,000034 |
| 4 | 6 | 0,000561 | 0,000522 | 0,000808 | 0,000836 |
| 5 | 8 | 0,000987 | 0,000426 | 0,000673 | 0,001716 |
| 6 | 10 | 0,000684 | 0,000494 | 0,000897 | 0,001290 |
| 7 | 12 | 0,001514 | 0,003084 | 0,001009 | 0,001155 |
| 8 | 14 | 0,001716 | 0,001110 | 0,000404 | 0,000942 |
| 9 | 16 | 0,000830 | 0,000538 | 0,000135 | 0,000393 |
| 10 | 18 | 0,000538 | 0,000589 | 0,000280 | 0,000516 |
| 11 | 20 | 0,000594 | 0,000505 | 0,000505 | 0,000280 |
| 12 | 22 | 0,000561 | 0,000729 | 0,000718 | 0,000303 |



Grafik IV.2. Hubungan Antara Waktu Tinggal Fermentasi (Jam ke-) dengan Massa Gas Non-Akumulatif yang Dihasilkan (kg) pada Digester Skala Batch



Pada **Grafik IV.2** terdapat 4 variabel pembuatan biogas yaitu variabel rasio COD:N:P 250:3:1 yang diwakili oleh garis berwarna biru, rasio COD:N:P 250:4:1 yang diwakili oleh garis berwarna merah, rasio COD:N:P 250:5:1 yang diwakili oleh garis berwarna hijau dan rasio COD:N:P 250:7:1 yang diwakili oleh garis berwarna hijau. Pada **Grafik IV.2** dapat dilihat pembentukan biogas setiap dua jam sekali. Variabel rasio COD:N:P 250:4:1 menunjukkan perkembangan pembentukan biogas yang paling tinggi dan mencapai puncak pada jam ke 12 yaitu sebesar 0,003084 kg, dibandingkan dengan variabel COD:N:P 240:3:1 mencapai puncak pada jam ke 14 yaitu rasio sebesar 0,001716 kg, variabel rasio COD:N:P 250:5:1 mencapai puncak pada jam ke 12 yaitu sebesar 0,001009 kg dan variabel rasio COD:N:P 250:7:1 mencapai puncak pada jam ke 10 yaitu sebesar 0,001289 kg.

Tabel IV.4 Persen (%) Penyisihan COD awal bahan biogas dengan rasio COD Akhir setelah melalui Proses Fermentasi

| Variabel | COD Awal (mg/l) | COD Akhir (mg/l) | Persen Removal (%) |
|----------|-----------------|------------------|--------------------|
| 250:1:4 | 56000 | 8800 | 84,285 |

Biogas yang paling optimum dihasilkan pada variabel 250:4:1 dengan kandungan COD awal sebesar 56000 mg/l dan kandungan COD akhir sebesar 8800 mg/l sehingga didapatkan Pesen removal sebesar 84,285 %.

IV.2 Pembahasan

IV.2.1 Peran Bakteri dalam Pembuatan Biogas

Didalam reaktor biogas, terdapat dua jenis bakteri yang sangat berperan, yaitu bakteri asidogenik dan metanogenik. Bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran



binatang, manusia dan sampah organik rumah tangga (Engler, 2000).

Kedua jenis bakteri ini perlu eksis dalam jumlah yang berimbang. Bakteri-bakteri ini memanfaatkan bahan organik dan memproduksi metan dan gas lainnya dalam siklus hidupnya pada kondisi anaerob. Mereka memerlukan kondisi tertentu dan sensitif terhadap lingkungan mikro dalam digester seperti temperatur, keasaman dan jumlah material organik yang akan dicerna. Terdapat beberapa spesies metanogenik dengan berbagai karakteristik. Bakteri ini mempunyai beberapa sifat fisiologi yang umum, tetapi mempunyai morfologi yang beragam seperti *Methanomicrobium*, *Methanosarcina*, *Metanococcus* dan *Methanothrix* (Yongzhi, 2001).

Menurut hasil penelitian jumlah bakteri pada proses anaerob variabel 250:4:1 adalah 1600000 sel namun setelah gas methan mengalami penurunan jumlah bakteri pun ikut menurun yaitu 16000 sel. Ketika jumlah populasi bakteri meningkat, aktivitas bakteri menghasilkan gas metana juga meningkat (David, 2011).

IV.2.2 Pengenceran Kotoran Sapi

Slurry kotoran sapi mengandung 1,8 – 2,4% Nitrogen, 1,0-1,2% fosfat (P_2O_5), 0,6-0,8% potassium (K_2O) dan 50-75% bahan organik. Kandungan solid yang paling baik untuk proses anaerobic yaitu sekitar 8%. Untuk limbah kotoran sapi segar dibutuhkan pengenceran 1:1 dengan aquades (Updated Guidedbook on Biogas Development-Energy Resources Development Series, 1984).

Penambahan air ini adalah untuk mereduksi kandungan organik pada biowaste (karbon, nitrogen dan fosfat) karena kandungan tersebut akan ikut terbawa oleh air tambahan. Semakin sedikit kandungan organik dalam biowaste semakin mudah degradasi pada proses berlangsung. Rasio optimum untuk proses anaerobic adalah 1:1 dengan air tambahan (Liberty, 2009)



IV.2.3 Penambahan Nutrisi untuk Optimalisasi

Pembuatan Biogas

Pada pembuatan biogas ditambahkan urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) berkadar nitrogen (N) sebesar 46%. Urea dipilih sebagai sumber nitrogen karena mudah dicerna oleh berbagai mikroorganisme. Selain itu, urea yang berisi nitrogen menjadi sumber nutrisi bagi pertumbuhan mikroorganisme. Akan tetapi, kekurangan urea dapat menghambat produksi metana (*Anunputikul, 2004*)

Pada pembuatan biogas ditambahkan SP36 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ berkadar fosfat (P) sebesar 36%. Fosfat merupakan nutrient penting untuk mikroorganisme. Fosfat membantu potensi pertumbuhan mikroorganisme dalam digester (*Laksana, 2009*)

Biogas yang paling optimum yaitu sebesar 11, 4602 gr dihasilkan pada variabel COD:N:P 250:4:1. Sehubungan kondisi rasio COD:N optimum pada proses anaerobik yang paling disarankan yaitu pada rentang 50-143 (*Speece, 1996*).

IV.2.4 Peran Chemical Oxygen Demand (COD) dalam

Pembuatan Biogas

Chemical Oxygen Demand (COD) yang terkandung pada limbah gula merah sangat besar yaitu 31.107 mg/l. Bahan organik tinggi yang terkandung dalam air buangan berpotensi untuk mencemari lingkungan alam sekitarnya. Bahan organik tinggi ($\text{COD} > 4000 \text{ mg/l}$) lebih tepat diolah dengan menggunakan pengolahan secara anaerob (*Leslie Grady and Henry C, 1991*).

Sehingga pada penelitian ini dipilih proses pengolahan secara anaerob karena proses anaerob tidak membutuhkan energi untuk aerasi sehingga kemampuan pembebanan bahan organik lebih tinggi karena tidak dibatasi oleh kebutuhan oksigen. Sebagai perbandingan untuk pengolahan aerob diperlukan energi untuk



Bab IV Hasil dan Pembahasan

mentransfer oksigen sekitar 500-2000 kwh per 1000 kg COD yang diolah (*Speece, 1996*).

Peneletian pembuatan biogas ini berhenti saat penyisihan nilai COD sebesar 84,285 %. Peningkatan konsentrasi organik menyebabkan penurunan penyisihan nilai COD dalam influen. Penurunan ini disertai pula dengan penurunan gas metan. Semakin besar konsentrasi organik akan semakin banyak asam volatile yang dihasilkan oleh proses asidogenesa. Kondisi ini menyebabkan populasi bakteri metanogen tidak dapat melangsungkan proses metanogenesa dengan sempurna, sehingga hanya sebagian produk proses asidogenesa yang dikonversi menjadi gas metan. Akibatnya persentasi penyisihan COD akan menurun disertai dengan penurunan peresentasi pembentukan gas CH₄ (*Leslie Grady and Henry C, 1991*).

BAB V NERACA MASSA DAN PANAS

V.1 Neraca Massa

Neraca Massa (Kotoran Sapi + Limbah Gula Merah + Ampas Tebu + Air)

V.1.1 Neraca Massa Pencampuran

Basis = 3173,16 gr



Tabel V.1 Neraca Massa Komponen Aliran 1 (Kotoran Sapi)

Massa: 1023,6 gr

| Komponen | Persentase (%) | Massa (gram) |
|----------|----------------|--------------|
| Selulosa | 44,00% | 450,384000 |
| Abu | 29,33% | 300,221880 |
| Air | 26,67% | 272,994120 |
| Total | 100% | 1023,600000 |

**Tabel V.2** Neraca Massa Komponen Aliran 2 (Limbah Gula Merah)

Massa: 1023,6 gr

| Komponen | Persentase (%) | Massa (gram) |
|----------|----------------|--------------|
| Glukosa | 7,07% | 72,368520 |
| Air | 92,93% | 951,231480 |
| Total | 100% | 1023,600000 |

Tabel V.3 Neraca Massa Komponen Aliran 3 (Air)

Volume: 1023,6 ml

| Komponen | Persentase (%) | Massa (gram) |
|----------|----------------|--------------|
| Air | 100,00% | 1023,600000 |

Tabel V.4 Neraca Massa Komponen Aliran 4 (Ampas Tebu)

Massa: 102,36 gr

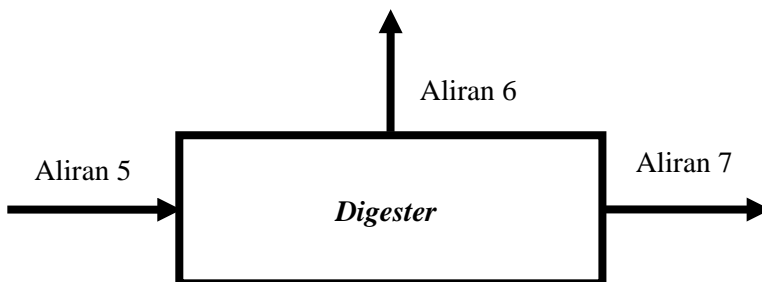
| Komponen | Persentase (%) | Massa (gram) |
|----------|----------------|--------------|
| Selulosa | 75% | 76,770000 |
| Abu | 5% | 5,118000 |
| Air | 20% | 20,472000 |
| Total | 100% | 102,360000 |

Tabel V.5 Berat Molekul Komponen

| Komponen | Rumus Molekul | BM |
|------------------|----------------|-----|
| Selulosa | $C_6H_{10}O_5$ | 162 |
| H ₂ O | H_2O | 18 |
| Glukosa | $C_6H_{12}O_6$ | 180 |

**Tabel V.6** Neraca Massa Pencampuran

| Masuk | | Keluar | |
|----------------|-------------|----------|-------------|
| Aliran 1+2+3+4 | | Aliran 5 | |
| Komponen | Massa (g) | Komponen | Massa (g) |
| Selulosa | 527,154000 | Selulosa | 527,154000 |
| Glukosa | 72,368520 | Glukosa | 72,368520 |
| Abu | 305,339880 | Abu | 305,339880 |
| Air | 2268,297600 | Air | 2268,297600 |
| Total | 3173,160000 | total | 3173,160000 |

V.1.2 Neraca Massa Proses Fermentasi**Tabel V.7** Massa Komponen pada Reaksi Hidrolisa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|----------------|-----|-------------|-------------|
| $C_6H_{10}O_5$ | 162 | 0,052715 | 0 |
| H_2O | 18 | 2268,297600 | 2168,291743 |
| $C_6H_{12}O_6$ | 180 | - | 0,058573 |

**Tabel V.8** Massa Komponen pada Reaksi Asidogenesis Selulosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|----------------|-----|----------|----------|
| $C_6H_{12}O_6$ | 180 | 0,058573 | 0 |
| C_2H_5OH | 46 | - | 0,029937 |
| CO_2 | 44 | - | 0,002863 |

Tabel V.9 Massa Komponen pada Reaksi Asetogenesis Selulosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|------------|----|----------|----------|
| C_2H_5OH | 46 | 0,029937 | 0 |
| CO_2 | 44 | - | 0,014318 |
| CH_3COOH | 60 | - | 0,039048 |
| CH_4 | 16 | - | 0,005206 |

Tabel V.10 Massa Komponen pada Reaksi Metanogenesis Selulosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|------------|----|----------|----------|
| CH_3COOH | 60 | 0,039048 | 0 |
| CH_4 | 16 | - | 0,010413 |
| CO_2 | 44 | - | 0,028636 |

Tabel V.11 Massa Komponen pada Reaksi Asidogenesis Glukosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|----------------|-----|-----------|-----------|
| $C_6H_{12}O_6$ | 180 | 72,368520 | 0 |
| C_2H_5OH | 46 | - | 36,988355 |
| CO_2 | 44 | - | 35,380165 |

**Tabel V.12** Massa Komponen pada Reaksi Asetogenesis Glukosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|------------|----|-----------|-----------|
| C_2H_5OH | 46 | 36,988355 | 0 |
| CO_2 | 44 | - | 17,690083 |
| CH_3COOH | 60 | - | 48,245680 |
| CH_4 | 16 | - | 6,432757 |

Tabel V.13 Massa Komponen pada Reaksi Metanogenesis Glukosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|------------|----|-----------|-----------|
| CH_3COOH | 60 | 48,245680 | 0 |
| CH_4 | 16 | - | 12,865515 |
| CO_2 | 44 | - | 35,380165 |

Tabel V.14 Massa Gas CO_2 dan CH_4

| Total CO_2 | Total CH_4 |
|--------------|--------------|
| 70,817602 | 19,313891 |



V.1.3 Neraca Massa Total

Tabel V.15 Neraca Massa Total

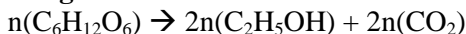
| Masuk | | Keluar | |
|--------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Komponen | Massa (gram) | Komponen | Massa (gram) |
| Selulosa | 527,154000 | Gas | |
| Glukosa | 72,368520 | CH ₄ | 19,313891 |
| Abu | 305,339880 | CO ₂ | 70,817602 |
| Air | 2268,297600 | | |
| | | Sludge | |
| | | H ₂ O | 2268,291743 |
| | | Padatan | 814,737000 |
| | | | |
| total | 3173,160000 | total | 3173,160000 |



V.2 Neraca Panas

Neraca Panas (Kotoran Sapi + Limbah Gula Merah + Ampas Tebu + Air)

V.2.1 Reaksi Pengasaman Selulosa



Tabel V.16 Perhitungan H Reaksi Asidogenesis Selulosa Menjadi Etanol dan CO_2

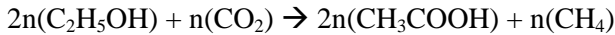
$T = 30^\circ\text{C}$

$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram $^\circ\text{C}$) | $T - T_{\text{ref}}$ ($^\circ\text{C}$) | H (Cal) |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------------------|----------------------------------------------|------------|
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | 0,058573 | 0,313923 | 5 | 0,091937 |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 0,029937 | 0,580000 | 5 | 0,086818 |
| CO_2 | 0,028636 | 0,201909 | 5 | 0,028909 |

Tabel V.17 Perhitungan ΔH_{25}

| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|-----------------|------------------|
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | 0,000325 | 10000 | -304326 | -990288,075300 |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 0,000651 | 20000 | -66326,482000 | -863315,315900 |
| CO_2 | 0,000651 | 20000 | -94051,147000 | -1224183,663000 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | -1097210,903000 | |



Tabel V.18 Perhitungan H Reaksi Asetogenesis Selulosa Menjadi Asam Asetat dan CO_2

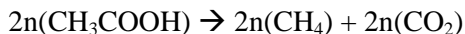
$$T = 30^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$$

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram $^\circ\text{C}$) | T-T _{ref} ($^\circ\text{C}$) | H (Cal) |
|---------------------------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 0,029937 | 0,580000 | 5 | 0,086818 |
| CO_2 | 0,014318 | 0,201909 | 5 | 0,014454 |
| CH_3COOH | 0,039048 | 0,491200 | 5 | 0,095903 |
| CH_4 | 0,005206 | 0,534375 | 5 | 0,013911 |

Tabel V.19 Perhitungan ΔH_{25}

| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------------|------------------|
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 0,000651 | 20000 | -66326,482000 | -863315,315900 |
| CO_2 | 0,000651 | 10000 | -94051,147000 | -612091,831400 |
| CH_3COOH | 0,000651 | 20000 | -115730,402000 | -1506364,058000 |
| CH_4 | 0,000325 | 10000 | -17829,8000 | -58018,829560 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | -88975,739950 | |



Tabel V.20 Perhitungan H Reaksi Metanogenesis Selulosa Menjadi CH_4 dan CO_2

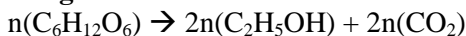
$$T = 30^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$$

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram $^\circ\text{C}$) | T-T _{ref} ($^\circ\text{C}$) | H (Cal) |
|--------------------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| CH_3COOH | 0,039048 | 0,491200 | 5 | 0,095903 |
| CH_4 | 0,010413 | 0,534375 | 5 | 0,027822 |
| CO_2 | 0,028636 | 0,201909 | 5 | 0,028909 |

**Tabel V.21** Perhitungan ΔH_{25}

| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------------|------------------|
| CH ₃ COOH | 0,000651 | 20000 | -115730,402000 | -1506364,058000 |
| CH ₄ | 0,000651 | 20000 | -17829,800000 | -232075,318300 |
| CO ₂ | 0,000651 | 20000 | -94051,147000 | -1224183,663000 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | 50105,076570 | |

V.2.2 Reaksi Pengasaman Glukosa**Tabel V.22** Perhitungan H Reaksi Asidogenesis Glukosa Menjadi Etanol dan CO₂

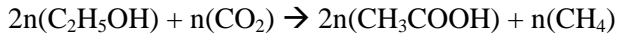
T = 30°C

T_{ref} = 25°C

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram°C) | T-T _{ref} (°C) | H (Cal) |
|-----------------------------------------------|--------------|-----------------|-------------------------|------------|
| C ₆ H ₁₂ O ₆ | 72,368520 | 0,313923 | 5 | 113,590759 |
| C ₂ H ₅ OH | 36,988355 | 0,580000 | 5 | 107,266229 |
| CO ₂ | 35,380165 | 0,201909 | 5 | 35,717885 |

Tabel V.23 Perhitungan ΔH_{25}

| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|---------------|------------------|
| C ₆ H ₁₂ O ₆ | 0,402047 | 10000 | -304326 | -1223534568 |
| C ₂ H ₅ OH | 0,804095 | 20000 | -66326,482000 | -1066655409 |
| CO ₂ | 0,804095 | 20000 | -94051,147000 | -1512520514 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | -1355641355 | |



Tabel V.24 Perhitungan H Reaksi Asetogenesis Glukosa Menjadi Asam Asetat dan CO_2

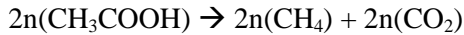
$T = 30^\circ\text{C}$

$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram $^\circ\text{C}$) | $T - T_{\text{ref}}$ ($^\circ\text{C}$) | H (Cal) |
|---------------------------------|-----------------|------------------------------------|----------------------------------------------|------------|
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 36,988355 | 0,580000 | 5 | 107,266229 |
| CO_2 | 17,690083 | 0,201909 | 5 | 17,858943 |
| CH_3COOH | 48,245680 | 0,491200 | 5 | 118,491390 |
| CH_4 | 6,432757 | 0,534375 | 5 | 17,187524 |

Tabel V.25 Perhitungan ΔH_{25}

| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------------|------------------|
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 0,804095 | 20000 | -66326,482000 | -1066655409 |
| CO_2 | 0,402047 | 10000 | -94051,147000 | -378130129 |
| CH_3COOH | 0,804095 | 20000 | -115730,402000 | -1861163980 |
| CH_4 | 0,402047 | 10000 | -17829,800000 | -71684235 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | -488062679 | |



Tabel V.26 Perhitungan H Reaksi Metanogenesis Asam Asetat Menjadi CH_4 dan CO_2

$$T = 30^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$$

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram°C) | T-T _{ref} (°C) | H (Cal) |
|--------------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|------------|
| CH_3COOH | 48,245680 | 0,491200 | 5 | 118,491390 |
| CH_4 | 12,865515 | 0,534375 | 5 | 34,375047 |
| CO_2 | 35,380165 | 0,201909 | 5 | 35,717885 |

Tabel V.27 Perhitungan ΔH_{25}

| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------------|------------------|
| CH_3COOH | 0,804095 | 20000 | -115730,402000 | -1861163980 |
| CH_4 | 0,804095 | 20000 | -17829,800000 | -286736942 |
| CO_2 | 0,804095 | 20000 | -94051,147000 | -1512520514 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | 61906525 | |

**V.2.3 Neraca Panas Total****Tabel V.28** Neraca Panas Total

| Neraca Panas | | | |
|---------------------|-------------|--------------------|-------------|
| Masuk | | Keluar | |
| $C_6H_{12}O_6$ | 113,682696 | C_2H_5OH | 107,353046 |
| | | CO_2 | 35,746794 |
| $\Delta H_{25(2)}$ | -1356738566 | $\Delta_{Hreaksi}$ | -1356738536 |
| | | | |
| C_2H_5OH | 107,353046 | CH_3COOH | 118,587293 |
| CO_2 | 17,873397 | CH_4 | 17,201434 |
| $\Delta H_{25(3)}$ | -488151654 | $\Delta_{Hreaksi}$ | -488151644 |
| | | | |
| CH_3COOH | 118,587293 | CH_4 | 34,402869 |
| $\Delta H_{25(4)}$ | 61956630 | CO_2 | 35,746794 |
| | | $\Delta_{Hreaksi}$ | 61956581 |
| Total | -1782933233 | Total | -1782933233 |

BAB VI

ANALISIS KEUANGAN

VI.1 Anggaran Biaya Pembuatan Produk

Estimasi anggaran biaya pembuatan biogas dari limbah cair pabrik gula merah menggunakan kotoran sapi dan ampas tebu dengan proses anaerob skala industri kecil.

Kapasitas produksi : 3.244,36 kg

Waktu operasi : 3 hari

Bahan yang dibutuhkan untuk membuat biogas dalam 1 kali produksi :

Limbah cair gula merah : 4.500 liter

Kotoran sapi : 4.602,2 kg

Air : 4.602,2 liter

Ampas Tebu : 460,22 Kg

Tabel VI.1 Biaya Investasi Peralatan Proses Produksi

| No | Keterangan | Spesifikasi | Kuantitas | Harga (Rp.) | Total Biaya (Rp.) |
|------------------|----------------------|--------------------------------|-----------|-------------|-------------------|
| 1. | Tangki fermentor | Volume 5 m ³ | 3 buah | 6.000.000 | 18.000.000 |
| 2. | Tangki penampung gas | Volume 3 m ³ | 3 buah | 5.750.000 | 17.250.000 |
| 3. | Pipa 8" | Panjang 4 m | 1 batang | 310.000 | 310.000 |
| 4. | Selang karet | Tahan panas dan tekanan tinggi | 12 meter | 26.000 | 312.000 |
| 5. | Valve | 12 Lbs FIH FH ¾" | 10 buah | 115000 | 1.150.000 |
| 6. | Barometer | 0 – 315 kg/cm ² | 3 buah | 35.000 | 105.000 |
| 7. | Termometer | 0 – 100 °C | 6 buah | 364.000 | 2.184.000 |
| 8. | Pompa air | 125 watt | 2 buah | 800.000 | 1.600.000 |
| Sub-Total | | | | | 40.911.000 |

Sumber Harga :

- Tangki Fermentor : Nongko Jajar
- Tangki Penampung gas : jayamakmur.indonetwork.co.id
- Pipa 8" : infohargabangunan.com



- Selang Karet : superflexhose.co.id
- Valve : ralali.com
- Barometer : gunaindomandiri.com
- Thermometer : lazada.co.id
- Pompa air : tipemesin.com

Tabel VI.2 Biaya Kebutuhan Bahan Baku Produksi

| No | Keterangan | Kuantitas | Harga (Rp.) | Total Biaya (Rp.) |
|------------------|------------------|-----------|-------------|-------------------|
| 1. | Sewa Truk | 1 Truk | 600.000 | 600.000 |
| 2. | Bahan Bakar | 15 Liter | 7.200 | 108.000 |
| 3. | Sopir | 1 Orang | 150.000 | 150.000 |
| 4. | Urea | 22,5 kg | 5.000 | 112.500 |
| 5. | Super Phospat 36 | 4,5 kg | 7.000 | 31.500 |
| Sub-Total | | | | 1.002.000 |

Tabel VI.3 Biaya Pendukung Utilitas

| No | Keterangan | Kuantitas | Harga (Rp.) | Total Biaya (Rp.) |
|------------------|------------|--------------------|-------------|-------------------|
| 1. | Air | 100 m ³ | 2.500 | 250.000 |
| 2. | Listrik | 500 Kwh | 1.200 | 600.000 |
| Sub-Total | | | | 850.000 |

Tabel VI.4 Biaya Pendukung Lainnya

| No | Keterangan | Kuantitas | Harga (Rp.) | Total Biaya (Rp.) |
|------------------|-----------------------|-----------|-------------|-------------------|
| 1. | Gaji Karyawan | 5 Orang | 2.750.000 | 13.750.000 |
| 2. | Maintenance peralatan | - | 500.000 | 500.000 |
| Sub-Total | | | | 14.250.000 |

**a. Biaya tetap (FC)**

Biaya tetap adalah total biaya yang tidak akan mengalami perubahan apabila terjadi perubahan volume produksi. Biaya tetap secara total akan selalu konstan sampai tingkat kapasitas penuh. Biaya tetap merupakan biaya yang akan selalu terjadi walaupun perusahaan tidak berproduksi. Biaya tetap meliputi PBB, penyusutan alat, sewa tanah atau bangunan, utilitas, gaji karyawan, dan *maintenance* peralatan.

1. Nilai asset peralatan

Harga awal peralatan total - Harga akhir umur peralatan

Waktu (tahun)

$$\frac{40.911.000 - 10.000.000}{20} = 1.545.550$$

Nilai asset perusahaan pada akhir tahun ke- 20 :

$$40.911.000 - 20 (1.545.550) = 10.000.000$$

- | | |
|--------------------------------------------|--------------|
| 2. Sewa bangunan 128 m ² /tahun | = 40.000.000 |
| 3. Utilitas | = 850.000 |
| 4. Gaji Karyawan | = 13.750.000 |
| 5. Maintenance peralatan | = 500.000 |

$$\begin{array}{r} \text{Total} \\ \hline \end{array} = 65.100.000$$

b. Biaya variabel (VC)

Biaya variabel adalah total biaya yang berubah-ubah tergantung dengan perubahan volume penjualan/produksi. Biaya variabel akan berubah secara proposional dengan perubahan volume produksi. Biaya variabel meliputi kebutuhan bahan baku.

Biaya variabel per produksi = Rp 1.002.000

$$\begin{aligned} \text{Biaya variabel per kg} &= \frac{\text{Biaya variabel per produksi}}{\text{Jumlah produksi}} \\ &= \frac{\text{Rp 1.002.000}}{3.244,36} = \text{Rp 308,843} \end{aligned}$$



c. Biaya produksi total (TC)

Biaya produksi total merupakan biaya yang dibutuhkan untuk melakukan proses produksi dalam waktu satu bulan.

$$\begin{aligned} FC + (10 \text{ VC}) &= \text{Rp } 65.100.000 + (10 \times \text{Rp } 1.002.000) \\ &= \text{Rp } 75.120.000 \end{aligned}$$

VI.2 Harga Pokok Penjualan (HPP)

Harga pokok penjualan adalah seluruh biaya yang dikeluarkan untuk memperoleh barang yang dijual atau harga perolehan dari barang yang dijual.

- Jumlah gas yang dihasilkan dalam 1 kali produksi = 3.244,36 kg
- Jumlah gas yang dihasilkan dalam 1 bulan = 32.443,6 kg

$$\begin{aligned} \text{HPP} &= \frac{\text{Biaya produksi total (TC)}}{\text{Jumlah produk per bulan}} \\ &= \frac{\text{Rp } 75.120.000}{\text{Rp } 32.443,6} \\ &= \text{Rp } 2.315,402 / \text{kg} \end{aligned}$$

- Laba $= 50\% \times \text{HPP}$
 $= 50\% \times \text{Rp } 2.315,402$
 $= \text{Rp } 1.157,701$
- Harga jual $= \text{HPP} + \text{Laba}$
 $= \text{Rp } 3473,104/\text{kg}$
- Hasil penjualan per bulan $= \text{Rp } 3473,104 \times 32.443,6 \text{ kg}$
 $= \text{Rp } 112.680.000$
- Laba per bulan $= \text{Rp } 112.680.000 - \text{Rp } 75.120.000$
 $= \text{Rp } 37.560.000$
- Laba per tahun $= \text{Rp } 37.560.000 \times 12 \text{ bulan}$
 $= \text{Rp } 450.720.000$

**VI.3 Break Even Point (BEP)**

Break Even Point (BEP) ialah titik impas dimana posisi jumlah pendapatan dan biaya sama atau seimbang sehingga tidak terdapat keuntungan ataupun kerugian dalam suatu perusahaan. *Break Even Point* ini digunakan untuk menganalisis proyeksi sejauh mana banyaknya jumlah unit yang diproduksi atau sebanyak apa uang yang harus diterima untuk mendapatkan titik impas atau kembali modal.

- BEP unit : titik pulang pokok (BEP) yang dinyatakan dalam jumlah penjualan produk di nilai tertentu.

$$\begin{aligned}\text{BEP unit} &= \frac{\text{Biaya tetap}}{\text{Harga jual per kg} - \text{biaya variabel per kg}} \\ &= \frac{65.100.000}{3.473,104 - 308,843} \\ &= 20.573,527\end{aligned}$$

Artinya, perusahaan perlu menjual 20.573,527 kg biogas agar terjadi BEP. Pada penjualan ke 22.710,52 kg, maka perusahaan tersebut akan mulai memperoleh keuntungan.

- BEP rupiah : titik pulang pokok (BEP) yang dinyatakan dalam jumlah penjualan atau harga penjualan tertentu.

$$\begin{aligned}\text{Kontribusi margin per kg} &= \text{harga jual per kg} - \text{biaya variabel per kg} \\ &= \text{Rp } 4.491,48\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{BEP rupiah} &= \frac{\text{Biaya tetap}}{\text{Kontribusi margin per kg} : \text{biaya variabel per kg}} \\ &= \frac{\text{Rp } 65.100.000}{\text{Rp } 3.164,260 : \text{Rp } 3.473,104} \\ &= \text{Rp } 71.454.003,51\end{aligned}$$

Artinya, perusahaan perlu mendapatkan omset penjualan biogas senilai Rp 71.454.003,51 agar terjadi BEP, maka



perusahaan tersebut akan mulai memperoleh keuntungan jika mendapat omset sebesar Rp 72.114.000,00

- BEP : titik pulang pokok (BEP) yang dinyatakan dalam jangka waktu tertentu.

Biaya pengeluaran per tahun = Biaya Investasi Peralatan +
Biaya Kebutuhan Bahan
Baku + Biaya Pendukung
Utilitas + Biaya Pendukung
Lainnya

$$= 40.911.000 + (1.002.000 \times 12) + (850.000 \times 12) + (14.250.000 \times 12)$$

$$= 234.135.000,00$$

$$\text{BEP} = \frac{\text{Biaya pengeluaran per tahun}}{\text{Hasil penjualan per bulan} \times 12}$$

$$= \frac{\text{Rp } 234.135.000,00}{\text{Rp } 11.268.000 \times 12}$$

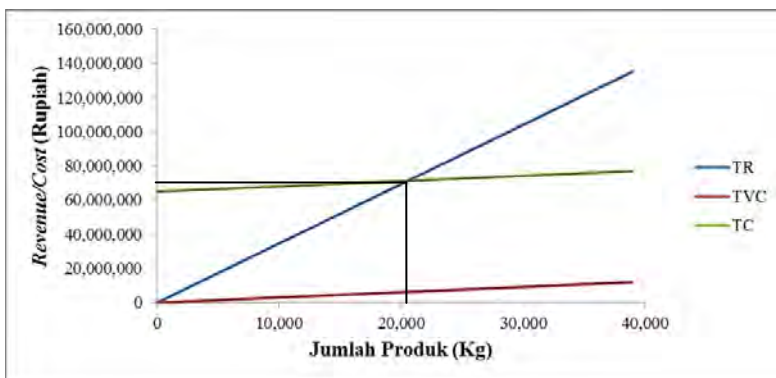
$$= 0,173 \text{ tahun}$$

$$= 63 \text{ hari}$$

Artinya, perusahaan perlu mendapatkan waktu penjualan biogas selama 63 hari agar terjadi BEP, maka perusahaan tersebut akan mulai memperoleh keuntungan.

**Tabel VI.5** Perhitungan Biaya Penjualan

| Biogas yang dijual (Kg) | Penghasilan total (Rupiah) | Biaya tetap (Rupiah) | Biaya variabel (Rupiah) | Biaya total (Rupiah) |
|-------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| 0.00 | 0 | 65.100.000 | 0 | 65.100.000 |
| 3.244,36 | 11.268.000 | 65.100.000 | 1.002.000 | 66.102.000 |
| 6.488,72 | 22.536.000 | 65.100.000 | 2.004.000 | 67.104.000 |
| 9.733,08 | 33.804.000 | 65.100.000 | 3.006.000 | 68.106.000 |
| 12.977,44 | 45.072.000 | 65.100.000 | 4.008.000 | 69.108.000 |
| 16.221,80 | 56.340.000 | 65.100.000 | 5.010.000 | 70.110.000 |
| 19.466,16 | 67.608.000 | 65.100.000 | 6.012.000 | 71.112.000 |
| 22.710,52 | 78.876.000 | 65.100.000 | 7.014.000 | 72.114.000 |
| 25.954,88 | 90.144.000 | 65.100.000 | 8.016.000 | 73.116.000 |
| 29.199,24 | 101.412.000 | 65.100.000 | 9.018.000 | 74.118.000 |
| 32.443,60 | 112.680.000 | 65.100.000 | 10.020.000 | 75.120.000 |
| 35.687,96 | 123.948.000 | 65.100.000 | 11.022.000 | 76.122.000 |
| 38.932,32 | 135.216.000 | 65.100.000 | 12.024.000 | 77.124.000 |

**Grafik VI.1** Grafik *Break Even Point* (BEP)

Keterangan :

BEP = *Break Even Point*

TR = *Total Revenue*

TC = *Total Cost*

TVC = *Total Variables Cost*

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

VII.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penelitian ini menghasilkan biogas paling optimum pada variabel COD:N:P 250:4:1 dibandingkan dengan variabel COD:N:P 250:3:1, COD:N:P 250:5:1 dan COD:N:P 250:7:1
2. Persen penyisihan COD paling optimum pada variabel 250:4:1 sebesar 84,285 %.
3. Penelitian ini menghasilkan massa biogas paling optimum pada variabel COD:N:P 250:4:1 sebesar 11,4602 gr dibandingkan dengan variabel COD:N:P 250:3:1 sebesar 11,2715 gr, COD:N:P 250:5:1 sebesar 9,8215 dan COD:N:P 250:7:1 sebesar 10,6894 gr.

VII.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini antara lain :

1. Sludge yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerob dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik, baik cair maupun padat, sehingga memiliki nilai ekonomis yang tinggi.
2. Untuk hasil gas yang terbentuk lebih baik ditampung dan disimpan agar dapat digunakan sebagai cadangan bahan bakar.



3. Disarankan untuk membiarkan waktu fermentasi lebih dari 72 jam meskipun penambahan gas pada waktu 72 jam sudah mulai berkurang. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kandungan gas yang masih tersisa pada reaktor.
4. Sisa ampas tebu yang dihasilkan dari proses pembuatan gula merah dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biobriket, selain dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abshami. (2014). Teknologi Bioproses. *Pembuatan Biogas* , 1.
1984. Updated Guidedbook on Biogas Development-Energy Resources Development Series. New York, USA: United Nations, New York.
- Aelita, d. (2013). Fermentasi Anaerobik Limbah Kulit Singkong dan Kotoran Kelinci Untuk Produksi Biogas. *Jurnal Kimia* , 58.
- Agung, P. (2008). Pemanfaatan Biogas Sebagai Energi Alternatif.
- Andes Ismayana, d. (2012). FAKTOR RASIO C/N AWAL DAN LAJU AERASI PADA PROSES CO-COMPOSTING BAGASSE DAN BLOTONG. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* , 3.
- Anunputtikul, W. R. (2004). Investigation of The Potential Production of Biogas from Cassava Tuber. *Abstracts of the 15th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and JSPS-NRCT Symposium, Thailand*.
- David. (2011). Pengaruh Jenis Sampah, Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal Terhadap Komposisi Biogas dari Sampah Organik Pasar di Kota Palembang. 10.
- Engler, C. M. (2000). Economic and Enviromental Impact of Biogas production and Use. Dallas, USA
- Gheewala, D. J. (2006). Bagasse - A Sustainable Energy Resource from Sugar Mills. *Asian Journal on Energy and Environment* , 2-3.
- Hariyanto.(2015, Januari 26). Pengembangan Biogas di Nongkojajar. (H.I. Dinar, Pewawancara)
- Haryati, T. (2006). BIOGAS: LIMBAH PETERNAKAN YANG MENJADI SUMBER ENERGI ALTERNATIF. *WARTAZOA Vol.16* , 3.

- Herlina, d. (2010). Pembuatan Biodigester dengan Uji Coba Kotoran Sapi Sebagai Bahan Baku. *Laporan Tugas Akhir* , 13 dan 16.
- Himmelblau, D. M. (1989). *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*. New Jersey: PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Hougen, Q. (1959). *Chemical Process Principles, Part II: Thermodynamics*. John Wiley & Sons.
- James L. Walsh, d. (1988). *Biogas Utilization Handbook*. Alabama: US Departement of Energy.
- Laksana, W. (2009). Penyisihan Senyawa Organik Pada Biowaste Fase Padat Menggunakan Reaktor Batch Anaerob.
- Leslie Grady and Henry C, L. (1991). Biological Wastewater Treatment Theory and Application Secound Edition. In M. Dekker. New York.
- Liberty, D. (2009). Pengaruh Penambahan Air Pada Biowaste Terhadap Rasio CNP Dalam Proses Mechanical Biological Treatment (MBT).
- Lili Zalizar, d. (2014). Potensi Produksi dan Ekonomi Biogas serta Implikasinya pada Kesehatan Manusia, Ternak dan Lingkungan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan* 23(3):32-40 , 2.
- Lim, L. G. (1991). Biological Wastewater Treatment: Theory and Application, 2nd Ed. New York: Marcel Dekker.
- Ludfia. (2012). Pengaruh Jenis Kotoran Ternak Sebagai Substrat dengan Penambahan Serasah Daun Jati (*tectona grandis*) Terhadap karakteristik Biogas Pada Proses Fermentasi.
- Perry, R. H. (1997). *Perry's Chemical Engineers Handbook 7th Edition*. United States: The McGraw-Hill Companies, Inc.

- Price, E. C. (1981). *Biogas Production and Utilization Energy Technology series*. American arbor science.
- Renzo. (1977). *Energy Technology and Pollution Technology Review Series*. New Jersey: Noyes Data Corporation.
- Saputra, T. (2010). Produksi Biogas Dari Campuran Feses Sapi dan Ampas Tebu (Bagasse) Dengan Rasio C/N Yang Berbeda. 1-2.
- Setyawan, A. H. (2013). Pengembangan Biogas Berbahan Baku Kotoran Ternak Tangga. 5.
- Speece, R. E. (1996). *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater*. Tennessee: Archase Press
- Suryanto, E. H. (2011). Isolalsi Bakteri Kotoran Sapi Perah Secara Kuantitatif dan Kualitatif.
- Suyitno, d. (2010). *Teknologi Biogas*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Umar K. Mirza, d. (2008). An Overview of Biomass Energy Utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 2-3.
- USU. (2011). Sejarah Biogas. Dalam Anonim. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Yokoyama, S. (2008). *Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa*. The Japan Institute of Energy.
- Yongzhi, W. a. (2001). Research and Application of Biogas Decontamination System. *Internet Dialog on Ecological Sanitation*.

APPENDIKS A NERACA MASSA

A.1 Neraca Massa (Kotoran Sapi + Limbah Gula Merah + Ampas Tebu + Air)

Pengumpulan bahan baku campuran kotoran sapi, limbah gula merah, ampas tebu, dan air ke *digester* sebesar 3173,16 gram.

1. Neraca Massa Pencampuran

Fungsi: untuk menghomogenkan bahan baku campuran kotoran sapi, limbah gula merah, ampas tebu, dan air

Basis = 3173,16 gram



Aliran 1

Tabel A.1.1 Kandungan Kotoran Sapi

| Komponen | Persentase (%) | Massa (gram) |
|----------|----------------|--------------|
| Selulosa | 44,00% | 450,384000 |
| Abu | 29,33% | 300,221880 |
| Air | 26,67% | 272,994120 |
| Total | 100% | 1023,600000 |

Aliran 2**Tabel A.1.2** Kandungan Limbah Gula Merah

| Komponen | Persentase (%) | Massa (gram) |
|----------|----------------|--------------|
| Glukosa | 7,07% | 72,3685200 |
| Air | 92,93% | 951,231480 |
| Total | 100% | 1023,600000 |

Aliran 3**Tabel A.1.3** Kandungan Air

| Komponen | Persentase (%) | Massa (gram) |
|----------|----------------|--------------|
| Air | 100,00% | 1023,600000 |

Aliran 4**Tabel A.1.4** Kandungan Ampas Tebu

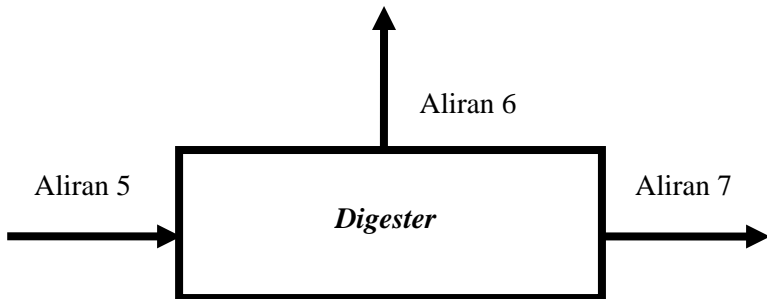
| Komponen | Persentase (%) | Massa (gram) |
|----------|----------------|--------------|
| Selulosa | 75% | 76,770000 |
| Abu | 5% | 5,118000 |
| Air | 20% | 20,472000 |
| Total | 100% | 102,360000 |

Tabel A.1.5 Berat Molekul Komponen

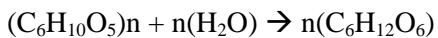
| Komponen | Rumus Molekul | BM |
|------------------|------------------|-----|
| Selulosa | $C_6H_{10}O_5$ | 162 |
| H ₂ O | H ₂ O | 18 |
| Glukosa | $C_6H_{12}O_6$ | 180 |

Tabel A.1.6 Neraca Massa Mixing

| Masuk | | Keluar | |
|----------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Aliran 1+2+3+4 | | Aliran 5 | |
| Komponen | Massa (g) | Komponen | Massa (g) |
| Selulosa | 527,154000 | Selulosa | 527,154000 |
| Glukosa | 72,368520 | Glukosa | 72,368520 |
| Abu | 305,339880 | Abu | 305,339880 |
| Air | 2268,297600 | Air | 2268,297600 |
| total | 3173,160000 | total | 3173,160000 |

A.2 Neraca Massa Fermentasi**A.2.1 Reaksi Hidrolisa****Tabel A.2.1** Massa Komponen pada Reaksi Hidrolisa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|----------------|-----|-------------|-------------|
| $C_6H_{10}O_5$ | 162 | 0,052715 | 0 |
| H_2O | 18 | 2268,297600 | 2268,291743 |
| $C_6H_{12}O_6$ | 180 | - | 0,058573 |



n= derajat polimerisasi pada selulosa

n= 10000

| | | | | | |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------|-------------------|-------------------|
| | $(C_6H_{10}O_5)_n$ | + | $n(H_2O)$ | \longrightarrow | $n(C_6H_{12}O_6)$ |
| Mula-Mula: | 0,000325 | | 126,016533 | | - |
| Reaksi: | 0,000325 | | 0,000325 | | 0,000325 |
| Sisa: | 0 | | 126,016208 | | 0,000325 |
| Massa $C_6H_{10}O_5$ | $= \text{mol mula-mula } C_6H_{10}O_5 \times \text{BM } (C_6H_{10}O_5)_n$ $= 0,592 \times 162 (10000)$ $= 0,052715 \text{ gram}$ | | | | |
| Massa H_2O | $= \text{mol mula-mula } H_2O \times \text{BM } (H_2O)_n$ $= 126,016533 \times 18$ $= 2268,2976 \text{ gram}$ | | | | |
| Massa H_2O | $= \text{mol sisa } H_2O \times \text{BM } H_2O$ $= 126,016208 \times 18$ $= 2168,291743$ | | | | |
| Massa $C_6H_{12}O_6$ | $= \text{mol sisa } C_6H_{12}O_6 \times \text{BM } C_6H_{12}O_6$ $= 0,000325 \times 180$ $= 0,058573 \text{ gram}$ | | | | |

A.2.2 Reaksi pada Selulosa

Tabel A.2.2.1 Massa Komponen pada Reaksi Asidogenesis Selulosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|----------------|-----|----------|----------|
| $C_6H_{12}O_6$ | 180 | 0,058573 | 0 |
| C_2H_5OH | 46 | - | 0,029937 |
| CO_2 | 44 | - | 0,002864 |

| | | | | | |
|------------|-------------------|-------------------|----------------|---|------------|
| | $n(C_6H_{12}O_6)$ | \longrightarrow | $2n(C_2H_5OH)$ | + | $2n(CO_2)$ |
| Mula-Mula: | 0,000325 | | - | | - |
| Reaksi: | 0,000325 | | 0,000651 | | 0,000651 |
| Sisa: | 0 | | 0,000651 | | 0,000651 |

Massa $C_6H_{12}O_6$ = mol mula-mula $C_6H_{12}O_6$ x BM $C_6H_{12}O_6$
 = $0,000325 \times 180$
 = $0,058573$ gram
 Massa C_2H_5OH = mol sisa C_2H_5OH x BM C_2H_5OH
 = $0,000651 \times 46$
 = $0,029937$ gram
 Massa CO_2 = mol sisa CO_2 x BM CO_2
 = $0,000651 \times 44$
 = $0,058573$ gram

Tabel A.2.2.2 Massa Komponen pada Reaksi Asetogenesis Selulosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|------------|----|----------|----------|
| C_2H_5OH | 46 | 0,029937 | 0 |
| CO_2 | 44 | 0,028635 | 0,014318 |
| CH_3COOH | 60 | - | 0,039048 |
| CH_4 | 16 | - | 0,005206 |



| | | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| Mula-Mula: | 0,000651 | 0,000651 | - | - |
| Reaksi: | 0,000651 | 0,000325 | 0,000651 | 0,000325 |
| Sisa: | 0 | 0,000325 | 0,000651 | 0,000325 |

Massa C_2H_5OH = mol mula-mula C_2H_5OH x BM C_2H_5OH
 = $0,000651 \times 46$
 = $0,029937$ gram
 Massa CO_2 = mol sisa CO_2 x BM CO_2
 = $0,000325 \times 44$
 = $0,014318$ gram
 Massa CH_3COOH = mol sisa CH_3COOH x BM CH_3COOH
 = $0,000651 \times 60$
 = $0,039048$ gram

$$\begin{aligned}
 \text{Massa CH}_4 &= \text{mol sisa CH}_4 \times \text{BM CH}_4 \\
 &= 0,000325 \times 16 \\
 &= 0,005206 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Tabel A.2.2.3 Massa Komponen pada Reaksi Metanogenesis Selulosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|----------------------|----|----------|----------|
| CH ₃ COOH | 60 | 0,039048 | 0 |
| CH ₄ | 16 | - | 0,010413 |
| CO ₂ | 44 | - | 0,028636 |

$$\begin{array}{lcl}
 & 2n(\text{CH}_3\text{COOH}) & \longrightarrow 2n(\text{CH}_4) + 2n(\text{CO}_2) \\
 \text{Mula-Mula:} & 0,000651 & - \quad - \\
 \text{Reaksi:} & 0,000651 & 0,000651 \quad 0,000651 \\
 \text{Sisa:} & 0 & 0,000651 \quad 0,000651
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa CH}_3\text{COOH} &= \text{mol mula-mula CH}_3\text{COOH} \times \text{BM CH}_3\text{COOH} \\
 &= 0,000651 \times 60 \\
 &= 0,039048 \text{ gram} \\
 \text{Massa CH}_4 &= \text{mol sisa CH}_4 \times \text{BM CH}_4 \\
 &= 0,000651 \times 16 \\
 &= 0,010413 \text{ gram} \\
 \text{Massa CO}_2 &= \text{mol sisa CO}_2 \times \text{BM CO}_2 \\
 &= 0,000651 \times 44 \\
 &= 0,028636 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

A.2.3 Reaksi pada Glukosa

Tabel A.2.3.1 Massa Komponen pada Reaksi Asidogenesis Glukosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|----------------|-----|-----------|-----------|
| $C_6H_{12}O_6$ | 180 | 72,368520 | 0 |
| C_2H_5OH | 46 | - | 36,988355 |
| CO_2 | 44 | - | 35,380165 |

| | | | |
|------------|-----------------------------------------------------------|----------|----------|
| | $n(C_6H_{12}O_6) \longrightarrow 2n(C_2H_5OH) + 2n(CO_2)$ | | |
| Mula-Mula: | 0,402047 | - | - |
| Reaksi: | 0,402047 | 0,804095 | 0,804095 |
| Sisa: | 0 | 0,804095 | 0,804095 |

| | |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Massa $C_6H_{12}O_6$ | = mol mula-mula $C_6H_{12}O_6$ x BM $C_6H_{12}O_6$ = 0,402047 x 180 = 72,368520 gram |
| Massa C_2H_5OH | = mol sisa C_2H_5OH x BM C_2H_5OH = 0,804095 x 46 = 36,988355 gram |
| Massa CO_2 | = mol sisa CO_2 x BM CO_2 = 0,804095 x 44 = 35,380165 gram |

Tabel A.2.3.2 Massa Komponen pada Reaksi Asetogenesis Glukosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|------------|----|-----------|-----------|
| C_2H_5OH | 46 | 36,988355 | 0 |
| CO_2 | 44 | - | 17,690083 |
| CH_3COOH | 60 | - | 48,245680 |
| CH_4 | 16 | - | 6,432757 |

| | | | | | |
|------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|--------------------|
| | $2n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$ | $+ n(\text{CO}_2)$ | \longrightarrow | $2n(\text{CH}_3\text{COOH})$ | $+ n(\text{CH}_4)$ |
| Mula-Mula: | 0,804095 | 0,804095 | - | - | |
| Reaksi: | 0,804095 | 0,402047 | | 0,804095 | 0,402047 |
| Sisa: | 0 | 0,402047 | | 0,804095 | 0,402047 |

| | |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Massa $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | = mol mula-mula $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ x BM $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ = $0,804095 \times 46$ = 36,988355 gram |
| Massa CO_2 | = mol sisa CO_2 x BM CO_2 = $0,402047 \times 44$ = 17,690083 gram |
| Massa CH_3COOH | = mol sisa CH_3COOH x BM CH_3COOH = $0,804095 \times 60$ = 48,24568 gram |
| Massa CH_4 | = mol sisa CH_4 x BM CH_4 = $0,402047 \times 16$ = 6,432757 gram |

Tabel A.2.3.3 Massa Komponen pada Reaksi Metanogenesis Glukosa

| Komponen | BM | Mula | Sisa |
|--------------------------|----|-----------|-----------|
| CH_3COOH | 60 | 48,245680 | 0 |
| CH_4 | 16 | - | 12,865515 |
| CO_2 | 44 | - | 35,380165 |

| | | | | |
|------------|------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| | $2n(\text{CH}_3\text{COOH})$ | \longrightarrow | $2n(\text{CH}_4)$ | $+ 2n(\text{CO}_2)$ |
| Mula-Mula: | 0,804095 | | - | - |
| Reaksi: | 0,804095 | | 0,804095 | 0,804095 |
| Sisa: | 0 | | 0,804095 | 0,804095 |

$$\begin{aligned}
 \text{Massa CH}_3\text{COOH} &= \text{mol mula-mula CH}_3\text{COOH} \times \text{BM CH}_3\text{COOH} \\
 &= 0,804095 \times 60 \\
 &= 48,24568 \text{ gram} \\
 \text{Massa CH}_4 &= \text{mol sisa CH}_4 \times \text{BM CH}_4 \\
 &= 0,804095 \times 16 \\
 &= 12,865515 \text{ gram} \\
 \text{Massa CO}_2 &= \text{mol sisa CO}_2 \times \text{BM CO}_2 \\
 &= 0,804095 \times 44 \\
 &= 35,380165 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Tabel A.2.4 Massa Gas CO₂ dan CH₄

| Total CO ₂ | Total CH ₄ |
|-----------------------|-----------------------|
| 70,817602 gram | 19,313891 gram |

Tabel A.2.5 Neraca Massa Total

| Masuk | | Keluar | |
|--------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Komponen | Massa (gram) | Komponen | Massa (gram) |
| Selulosa | 527,154000 | Gas | |
| Glukosa | 72,368520 | CH ₄ | 19,313891 |
| Abu | 305,339880 | CO ₂ | 70,817602 |
| Air | 2268,297600 | | |
| | | Sludge | |
| | | H ₂ O | 2268,291743 |
| | | Padatan | 814,737000 |
| | | | |
| total | 3173,160000 | total | 3173,160000 |

APPENDIKS B NERACA PANAS

B.1 Perhitungan Neraca Panas

Perhitungan C (kapasitas panas) menggunakan metode Kopp's

$$\frac{C_p}{J/(mol.K)} = \sum_{E=1}^N n_E \Delta_E$$

Diketahui:

n_E : banyaknya unsur dalam senyawa tersebut

Δ_E : kontribusi elemen

Berikut adalah data C_p menggunakan metode modifikasi Hukum Kopp's (Perry, ed.8)

Tabel B.1.1 *Heat Capacity of the element* (J/mol°C)

| Elemen | ΔE | Satuan |
|--------|------------|---------|
| C | 10,89 | J/mol°C |
| H | 7,56 | J/mol°C |
| O | 13,42 | J/mol°C |

Menghitung *Heat Capacity*

Tabel B.1.2 *Menghitung Heat Capacity*

| Elemen | Jumlah Atom C | Jumlah Atom H | Jumlah Atom O | C_p (J/mol°C) |
|----------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| $C_6H_{12}O_6$ | 6 | 12 | 6 | 236,580000 |
| $C_6H_{10}O_5$ | 6 | 10 | 5 | 208,040000 |

Perhitungan $C_6H_{12}O_6$

$$C_p = 6. \Delta_{EC} + 12. \Delta_{EH} + 6. \Delta_{EO}$$

$$C_p = 6(10,89) + 12(7,56) + 6(13,42)$$

$$C_p = 236,58 \frac{J}{mol} ^\circ C$$

$$C_p = 56,511 \frac{cal}{mol} ^\circ C$$

$$C_p = 0,3139 \frac{\text{cal}}{\text{gram}} ^\circ\text{C}$$

Perhitungan $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$

$$C_p = 6. \Delta_{\text{EC}} + 10. \Delta_{\text{EH}} + 5. \Delta_{\text{EO}}$$

$$C_p = 6(10,89) + 10 (7,56) + 5(13,42)$$

$$C_p = 208,04 \frac{\text{J}}{\text{mol}} ^\circ\text{C}$$

$$C_p = 49,694 \frac{\text{cal}}{\text{mol}} ^\circ\text{C}$$

$$C_p = 0,306 \frac{\text{cal}}{\text{gram}} ^\circ\text{C}$$

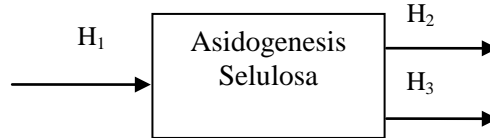
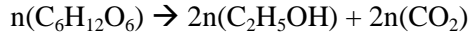
Tabel B.1.3 Data Kapasitas Panas (C_p) Komponen

| Komponen | C_p | Satuan | Referensi |
|-------------------------------------|----------|------------------------|------------------------|
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | 0,313923 | Cal/g $^\circ\text{C}$ | Metode Kopp's |
| $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ | 0,306725 | Cal/g $^\circ\text{C}$ | Metode Kopp's |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 0,580000 | Cal/g $^\circ\text{C}$ | Hougen (Table 23, 270) |
| CH_3COOH | 0,491200 | Cal/g $^\circ\text{C}$ | Hougen (Table 23, 270) |
| CO_2 | 0,201909 | Cal/g $^\circ\text{C}$ | Hougen (Table 19, 258) |
| CH_4 | 0,534375 | Cal/g $^\circ\text{C}$ | Hougen (Table 19, 258) |

Tabel B.1.4 Data *Heat of Formation* (ΔH_f) Senyawa

| Komponen | ΔH_f | Satuan | Referensi |
|-------------------------------------|----------------|---------|------------------------|
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | -304326 | Cal/mol | Thermodynamic Property |
| $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ | -230202 | Cal/mol | Eugene Domalski |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | -66326,482000 | Cal/mol | Thermodynamic Property |
| CO_2 | -94051,147000 | Cal/mol | Thermodynamic Property |
| CH_3COOH | -115730,402000 | Cal/mol | Thermodynamic Property |
| CH_4 | -17829,800000 | Cal/mol | Thermodynamic Property |

1. Neraca Panas pada Reaksi Asidogenesis Selulosa



Tabel B.1.5 Perhitungan H Reaksi Asidogenesis Selulosa Menjadi Etanol dan CO_2

$$T = 30^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$$

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram $^\circ\text{C}$) | T-T _{ref} ($^\circ\text{C}$) | H (Cal) |
|-------------------------------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | 0,058573 | 0,313923 | 5 | 0,091937 |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 0,029937 | 0,580000 | 5 | 0,086818 |
| CO_2 | 0,028636 | 0,201909 | 5 | 0,028909 |

$$\Delta H \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 0,058573 \times 0,313923 \times 5$$

$$\Delta H \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 0,091937 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = 0,029937 \times 0,580000 \times 5$$

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = 0,086818 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 0,028636 \times 0,201909 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 0,028909 \text{ cal}$$

Tabel B.1.6 Perhitungan ΔH_{25}

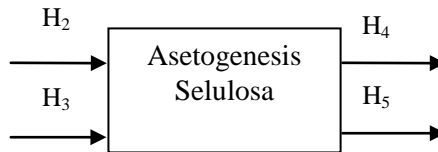
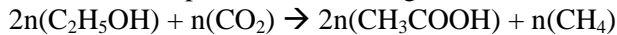
| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|-----------------|------------------|
| $C_6H_{12}O_6$ | 0,000325 | 10000 | -304326 | -990288,075300 |
| C_2H_5OH | 0,000651 | 20000 | -66326,482000 | -863315,315900 |
| CO_2 | 0,000651 | 20000 | -94051,147000 | -1224183,663000 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | -1097210,903000 | |

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{25} + \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = (-1097210,903000 + 0,086818 + 0,028909) - 0,091937$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = -1097210,879589 \text{ Cal}$$

2. Neraca Panas pada Reaksi Asetogenesis Selulosa

**Tabel B.1.7** Perhitungan H Reaksi Asetogenesis Selulosa Menjadi Asam Asetat dan CH_4

$$T = 30^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$$

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram $^\circ\text{C}$) | T-T _{ref} ($^\circ\text{C}$) | H (Cal) |
|------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| C_2H_5OH | 0,029937 | 0,580000 | 5 | 0,086818 |
| CO_2 | 0,014318 | 0,201909 | 5 | 0,014454 |
| CH_3COOH | 0,039048 | 0,491200 | 5 | 0,095903 |
| CH_4 | 0,005206 | 0,534375 | 5 | 0,013911 |

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = m \times C_p \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = 0,029937 \times 0,580000 \times 5$$

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = 0,086818 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = m \times C_p \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 0,014318 \times 0,201909 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 0,014454 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = m \times C_p \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = 0,039048 \times 0,491200 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = 0,095903 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CH}_4 = m \times C_p \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CH}_4 = 0,005206 \times 0,534375 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CH}_4 = 0,013911 \text{ cal}$$

Tabel B.1.8 Perhitungan ΔH_{25}

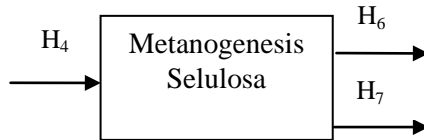
| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------------|------------------|
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 0,000651 | 20000 | -66326,482000 | -863315,315900 |
| CO_2 | 0,000651 | 10000 | -94051,147000 | -612091,831400 |
| CH_3COOH | 0,000651 | 20000 | -115730,402000 | -1506364,058000 |
| CH_4 | 0,000325 | 10000 | -17829,800000 | -58018,829560 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | -88975,73995 | |

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{25} + \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = (-88975,739950 + 0,095903 + 0,013911) - (0,086818 + 0,014454)$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = -88975,731413 \text{ cal}$$

3. Neraca Panas pada Reaksi Metanogenesis Selulosa
 $2n(\text{CH}_3\text{COOH}) \rightarrow 2n(\text{CH}_4) + 2n(\text{CO}_2)$



Tabel B.1.9 Perhitungan H Reaksi Metanogenesis Selulosa Asam Asetat Menjadi CH_4 dan CO_2

$$T = 30^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$$

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram $^\circ\text{C}$) | T-T _{ref} ($^\circ\text{C}$) | H (Cal) |
|--------------------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| CH_3COOH | 0,039048 | 0,491200 | 5 | 0,095903 |
| CH_4 | 0,010413 | 0,534375 | 5 | 0,027822 |
| CO_2 | 0,028636 | 0,201909 | 5 | 0,028909 |

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = 0,039048 \times 0,491200 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = 0,095903 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CH}_4 = m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CH}_4 = 0,010413 \times 0,534375 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CH}_4 = 0,027822 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 0,028636 \times 0,201909 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 0,028909 \text{ cal}$$

Tabel B.1.10 Perhitungan ΔH_{25}

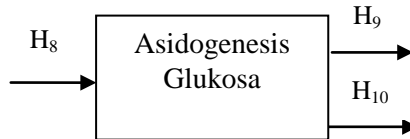
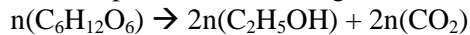
| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------------|------------------|
| CH ₃ COOH | 0,000651 | 20000 | -115730,402000 | -1506364,058000 |
| CH ₄ | 0,000651 | 20000 | -17829,800000 | -232075,318300 |
| CO ₂ | 0,000651 | 20000 | -94051,147000 | -1224183,663000 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | 50105,076570 | |

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{25} + \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = (50105,076570 + 0,027822 + 0,028909) - (0,095903)$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = 50105,037398 \text{ Cal}$$

4. Neraca Panas pada Reaksi Asidogenesis Glukosa

**Tabel B.1.11** Perhitungan H Reaksi Asidogenesis Glukosa Menjadi Etanol dan CO₂

$$T = 30^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$$

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram°C) | T-T _{ref} (°C) | H (Cal) |
|-----------------------------------------------|--------------|-----------------|-------------------------|------------|
| C ₆ H ₁₂ O ₆ | 72,368520 | 0,313923 | 5 | 113,590759 |
| C ₂ H ₅ OH | 36,988355 | 0,580000 | 5 | 107,266229 |
| CO ₂ | 35,380165 | 0,201909 | 5 | 35,717885 |

$$\Delta H \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 72,368520 \times 0,313923 \times 5$$

$$\Delta H \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 113,590759 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = m \times C_p \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = 36,988355 \times 0,580000 \times 5$$

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = 107,266229 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = m \times C_p \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 35,380165 \times 0,201909 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 35,717885 \text{ cal}$$

Tabel B.1.12 Perhitungan ΔH_{25}

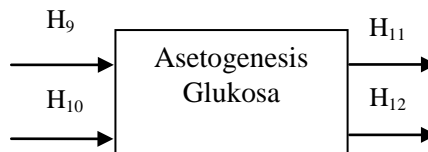
| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|---------------|------------------|
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | 0,402047 | 10000 | -304326 | -1223534568 |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | 0,804095 | 20000 | -66326,482000 | -1066655409 |
| CO_2 | 0,804095 | 20000 | -94051,147000 | -1512520514 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | -1355641355 | |

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{25} + \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = (-1355641355 + 107,266229 + 35,717885) - (113,590759)$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = -1355641325,597550 \text{ Cal}$$

5. Neraca Panas pada Reaksi Asetogenesis Glukosa

$$2n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + n(\text{CO}_2) \rightarrow 2n(\text{CH}_3\text{COOH}) + n(\text{CH}_4)$$
**Tabel B.1.13** Perhitungan H Reaksi Asetogenesis Glukosa Menjadi Asam Asetat dan CO_2

$$T = 30^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$$

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram°C) | T-T _{ref} (°C) | H (Cal) |
|----------------------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|------------|
| C ₂ H ₅ OH | 36,988355 | 0,580000 | 5 | 107,266229 |
| CO ₂ | 17,690083 | 0,201909 | 5 | 17,858943 |
| CH ₃ COOH | 48,245680 | 0,491200 | 5 | 118,491390 |
| CH ₄ | 6,432757 | 0,534375 | 5 | 17,187524 |

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = m \times \text{Cp} \times (\text{T}-\text{T}_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = 36,988355 \times 0,580000 \times 5$$

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = 107,266229 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = m \times \text{Cp} \times (\text{T}-\text{T}_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 17,690083 \times 0,201909 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 17,858943 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = m \times \text{Cp} \times (\text{T}-\text{T}_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = 48,245680 \times 0,491200 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = 118,491390 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CH}_4 = m \times \text{Cp} \times (\text{T}-\text{T}_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CH}_4 = 6,432757 \times 0,534375 \times 5$$

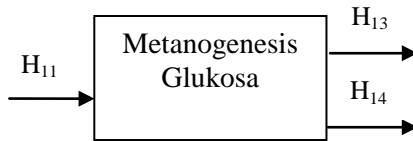
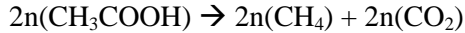
$$\Delta H \text{ CH}_4 = 17,187524 \text{ cal}$$

Tabel B.1.14 Perhitungan ΔH_{25}

| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------------|------------------|
| C ₂ H ₅ OH | 0,804095 | 20000 | -66326,482000 | -1066655409 |
| CO ₂ | 0,402047 | 10000 | -94051,147000 | -378130129 |
| CH ₃ COOH | 0,804095 | 20000 | -115730,402000 | -1861163980 |
| CH ₄ | 0,402047 | 10000 | -17829,800000 | -71684235 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | -488062677 | |

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{reaksi}} &= \Delta H_{25} + \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} \\ \Delta H_{\text{reaksi}} &= (-488062677 + 118,491390 + 17,187524) - \\ &\quad (107,266229 - 17,858943) \\ \Delta H_{\text{reaksi}} &= -488062668,090544 \text{ cal}\end{aligned}$$

6. Neraca Panas pada Reaksi Metanogenesis Glukosa



Tabel B.1.15 Perhitungan H Reaksi Metanogenesis Glukosa Asam Asetat Menjadi CH_4 dan CO_2

$$T = 30^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$$

| Komponen | Massa (gram) | Cp (cal/gram $^\circ\text{C}$) | T-T _{ref} ($^\circ\text{C}$) | H (Cal) |
|--------------------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------------------|------------|
| CH_3COOH | 48,245680 | 0,491200 | 5 | 118,491390 |
| CH_4 | 12,865515 | 0,534375 | 5 | 34,375047 |
| CO_2 | 35,380165 | 0,201909 | 5 | 35,717885 |

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = 48,245680 \times 0,491200 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOH} = 118,491390 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CH}_4 = m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CH}_4 = 12,865515 \times 0,534375 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CH}_4 = 34,375047 \text{ cal}$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = m \times \text{Cp} \times (T - T_{\text{ref}})$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 35,380165 \times 0,201909 \times 5$$

$$\Delta H \text{ CO}_2 = 35,717885 \text{ cal}$$

Tabel B.1.16 Perhitungan ΔH_{25}

| Komponen | Mol | Koefisien | ΔH_f | ΔH (Cal) |
|------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------------|------------------|
| CH ₃ COOH | 0,804095 | 20000 | -115730,402000 | -1861163980 |
| CH ₄ | 0,804095 | 20000 | -17829,800000 | -286736942 |
| CO ₂ | 0,804095 | 20000 | -94051,147000 | -1512520514 |
| $\Delta H_{25} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$ | | | 61906525 | |

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{25} + \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = (61906525 + 34,375047 + 35,717885) - 118,491390$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = 61906476 \text{ Cal}$$

B.2 Neraca Panas Total**Tabel B.2.1** Neraca Panas Total

| Neraca Panas | | | |
|---------------------|-------------|---------------------|-------------|
| Masuk | | Keluar | |
| $C_6H_{12}O_6$ | 113,682696 | C_2H_5OH | 107,353046 |
| | | CO_2 | 35,746794 |
| ΔH_{25} | -1356738566 | ΔH_{reaksi} | -1356738536 |
| | | | |
| C_2H_5OH | 107,353046 | CH_3COOH | 118,587293 |
| CO_2 | 17,873397 | CH_4 | 17,201434 |
| ΔH_{25} | -488151654 | ΔH_{reaksi} | -488151644 |
| | | | |
| CH_3COOH | 118,587293 | CH_4 | 34,402869 |
| ΔH_{25} | 61956630 | CO_2 | 35,746794 |
| | | ΔH_{reaksi} | 61956581 |
| Total | -1782933233 | Total | -1782933233 |

APPENDIKS C PERHITUNGAN VARIABEL

C.1 Perhitungan Variabel 250 : 3 : 1

COD : 31107 ppm

- Kadar N dalam Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) : 0,46
- Kadar P dalam SP36 (P_2O_5) : 0,4366
- Komposisi reaktor : 1:01:01

Kadar N

$$\frac{\text{COD limbah cair}}{\text{COD variabel}} = \frac{\text{N yang dibutuhkan}}{\text{N variabel}}$$

$$\frac{31107}{250} = \frac{\text{N yang dibutuhkan}}{3}$$

Nitrogen yang dibutuhkan = 373,298 ppm

Urea yang dibutuhkan

$$= \frac{\text{Kadar N}}{\text{Kadar N dalam Urea}} = \frac{373,2989}{0,46} = 811,5194 \text{ ppm}$$

Gram Urea

$$811,5194 \times 3000 = 2434560 \text{ mg}$$

$$= \frac{2434560}{1000000} = 2,43456 \text{ gram}$$

Kadar P

$$= \frac{\text{COD limbah cair}}{\text{P variabel}} = \frac{31107}{250} = 124,428 \text{ ppm}$$

SP36 yang dibutuhkan

$$= \frac{\text{Kadar P}}{\text{Kadar P dalam SP36}} = \frac{124,428}{0,4366} = 284,993 \text{ ppm}$$

Gram SP36 yang dibutuhkan dalam kadar 43,66%

$$284,993 \times 3000 = 854979 \text{ mg}$$

$$= \frac{854979}{1000000} = 0,854979 \text{ gram}$$

$$= \frac{36}{43,66} \times 0,854979 \text{ gram}$$

$$= 0,704975 \text{ gram}$$

C.2 Perhitungan Variabel 250 : 4 : 1

COD : 31107 ppm

- Kadar N dalam Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) : 0,46
- Kadar P dalam SP36 (P_2O_5) : 0,4366
- Komposisi reaktor : 1:01:01

Kadar N

$$\frac{\text{COD limbah cair}}{\text{COD variabel}} = \frac{\text{N yang dibutuhkan}}{\text{N variabel}}$$

$$\frac{31107}{250} = \frac{\text{N yang dibutuhkan}}{4}$$

$$\text{N yang dibutuhkan} = 497,712 \text{ ppm}$$

Urea yang dibutuhkan

$$= \frac{\text{Kadar N}}{\text{Kadar N dalam Urea}} = \frac{497,712}{0,46} = 1081,982609 \text{ ppm}$$

Gram Urea

$$1081,982609 \times 3000 = 3245947 \text{ mg}$$

$$= \frac{3245947}{1000000} = 3,24595 \text{ gram}$$

Kadar P

$$= \frac{\text{COD limbah cair}}{\text{P variabel}} = \frac{31107}{250} = 124,428 \text{ ppm}$$

SP36 yang dibutuhkan

$$= \frac{\text{Kadar P}}{\text{Kadar P dalam SP36}} = \frac{124,428}{0,4366} = 284,993 \text{ ppm}$$

Gram SP36 yang dibutuhkan dalam kadar 43,66%

$$284,993 \times 3000 = 854979 \text{ mg}$$

$$= \frac{854979}{1000000} = 0,854979 \text{ gram}$$

$$= \frac{36}{43,66} \times 0,854979 \text{ gram}$$

$$= 0,704975 \text{ gram}$$

C.3 Perhitungan Variabel 250 : 5 : 1

COD : 31107 ppm

- Kadar N dalam Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) : 0,46
- Kadar P dalam SP36 (P_2O_5) : 0,4366
- Komposisi reaktor : 1:01:01

Kadar N

$$\frac{\text{COD limbah cair}}{\text{COD variabel}} = \frac{\text{N yang dibutuhkan}}{\text{N variabel}}$$

$$\frac{31107}{250} = \frac{\text{N yang dibutuhkan}}{5}$$

N yang dibutuhkan = 622,14 ppm

Urea yang dibutuhkan

$$= \frac{\text{Kadar N}}{\text{Kadar N dalam Urea}} = \frac{622,14}{0,46} = 1352,478261 \text{ ppm}$$

Gram Urea

$$1352,478261 \times 3000 = 4057434 \text{ mg}$$

$$= \frac{4057434}{1000000} = 4,05743 \text{ gram}$$

Kadar P

$$= \frac{\text{COD limbah cair}}{\text{P variabel}} = \frac{31107}{250} = 124,428 \text{ ppm}$$

SP36 yang dibutuhkan

$$= \frac{\text{Kadar P}}{\text{Kadar P dalam SP36}} = \frac{124,428}{0,4366} = 284,993 \text{ ppm}$$

Gram SP36 yang dibutuhkan dalam kadar 43,66%

$$284,993 \times 3000 = 854979 \text{ mg}$$

$$= \frac{854979}{1000000} = 0,854979 \text{ gram}$$

$$= \frac{36}{43,66} \times 0,854979 \text{ gram}$$

$$= 0,704975 \text{ gram}$$

C.4 Perhitungan Variabel 250 : 7 : 1

COD : 31107 ppm

- Kadar N dalam Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) : 0,46
- Kadar P dalam SP36 (P_2O_5) : 0,4366
- Komposisi reaktor : 1:01:01

Kadar N

$$\frac{\text{COD limbah cair}}{\text{COD variabel}} = \frac{\text{N yang dibutuhkan}}{\text{N variabel}}$$

$$\frac{31107}{250} = \frac{\text{N yang dibutuhkan}}{7}$$

$$\text{N yang dibutuhkan} = 871,002968 \text{ ppm}$$

Urea yang dibutuhkan

$$= \frac{\text{Kadar N}}{\text{Kadar N dalam Urea}} = \frac{871,002968}{0,46} = 1893,484713 \text{ ppm}$$

Gram Urea

$$\begin{aligned} 1893,484713 \times 3000 &= 5680454 \text{ mg} \\ &= \frac{1893,484713}{3000000} = 5,68045 \text{ gram} \end{aligned}$$

Kadar P

$$= \frac{\text{COD limbah cair}}{\text{P variabel}} = \frac{31107}{250} = 124,428 \text{ ppm}$$

SP36 yang dibutuhkan

$$= \frac{\text{Kadar P}}{\text{Kadar P dalam SP36}} = \frac{124,428}{0,4366} = 284,993 \text{ ppm}$$

Gram SP36 yang dibutuhkan dalam kadar 43,66%

$$284,993 \times 3000 = 854979 \text{ mg}$$

$$= \frac{854979}{1000000} = 0,854979 \text{ gram}$$

$$= \frac{36}{43,66} \times 0,854979 \text{ gram}$$

$$= 0,704975 \text{ gram}$$

C.5 Jumlah Bakteri Sebelum Percobaan

C.5.1 Jumlah Bakteri pada variabel COD:N:P 250:3:1

| Kotak ke- | Jumlah Sel Teramati |
|------------------|---------------------|
| 1 | 1 |
| 2 | 1 |
| 3 | 1 |
| 4 | 0 |
| 5 | 2 |
| Jumlah Total Sel | 5 |
| Jumlah sel/kotak | 1 |

$$\text{Jumlah Sel} = \frac{\text{Jumlah sel/kotak}}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000$$

$$= \frac{1}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000$$

$$= 4000000 \text{ sel}$$

C.5.2 Jumlah Bakteri pada variabel COD:N:P 250:4:1

| Kotak ke- | Jumlah Sel Teramati |
|------------------|---------------------|
| 1 | 2 |
| 2 | 1 |
| 3 | 0 |
| 4 | 2 |
| 5 | 1 |
| Jumlah Total Sel | 6 |
| Jumlah sel/kotak | 1,2 |

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Sel} &= \frac{\text{Jumlah sel/kotak}}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= \frac{1,2}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= 4800000 \text{ sel}
 \end{aligned}$$

C.5.3 Jumlah Bakteri pada variabel COD:N:P 250:5:1

| Kotak ke- | Jumlah Sel Teramati |
|------------------|---------------------|
| 1 | 1 |
| 2 | 3 |
| 3 | 2 |
| 4 | 1 |
| 5 | 1 |
| Jumlah Total Sel | 8 |
| Jumlah sel/kotak | 1,6 |

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Sel} &= \frac{\text{Jumlah sel/kotak}}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= \frac{1,6}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= 6400000 \text{ sel}
 \end{aligned}$$

C.5.4 Jumlah Bakteri pada variabel COD:N:P 250:7:1

| Kotak ke- | Jumlah Sel Teramati |
|------------------|---------------------|
| 1 | 2 |
| 2 | 1 |
| 3 | 1 |
| 4 | 1 |
| 5 | 2 |
| Jumlah Total Sel | 7 |
| Jumlah sel/kotak | 1,4 |

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Sel} &= \frac{\text{Jumlah sel/kotak}}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= \frac{1,4}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= 5600000 \text{ sel}
 \end{aligned}$$

C.6 Jumlah Bakteri Setelah Percobaan

C.6.1 Jumlah Bakteri pada variabel COD:N:P 250:3:1

| Kotak ke- | Jumlah Sel Teramati |
|------------------|---------------------|
| 1 | 0 |
| 2 | 1 |
| 3 | 1 |
| 4 | 0 |
| 5 | 1 |
| Jumlah Total Sel | 3 |
| Jumlah sel/kotak | 0,6 |

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Sel} &= \frac{\text{Jumlah sel/kotak}}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= \frac{0,6}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= 2400000 \text{ sel}
 \end{aligned}$$

C.6.2 Jumlah Bakteri pada variabel COD:N:P 250:4:1

| Kotak ke- | Jumlah Sel Teramati |
|------------------|---------------------|
| 1 | 1 |
| 2 | 1 |
| 3 | 0 |
| 4 | 1 |
| 5 | 0 |
| Jumlah Total Sel | 3 |
| Jumlah sel/kotak | 0,6 |

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Sel} &= \frac{\text{Jumlah sel/kotak}}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= \frac{0,6}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= 2400000 \text{ sel}
 \end{aligned}$$

C.6.3 Jumlah Bakteri pada variabel COD:N:P 250:5:1

| Kotak ke- | Jumlah Sel Teramati |
|------------------|---------------------|
| 1 | 0 |
| 2 | 1 |
| 3 | 2 |
| 4 | 0 |
| 5 | 0 |
| Jumlah Total Sel | 3 |
| Jumlah sel/kotak | 0,6 |

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Sel} &= \frac{\text{Jumlah sel/kotak}}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= \frac{0,6}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= 2400000 \text{ sel}
 \end{aligned}$$

C.6.4 Jumlah Bakteri pada variabel COD:N:P 250:7:1

| Kotak ke- | Jumlah Sel Teramati |
|------------------|---------------------|
| 1 | 1 |
| 2 | 1 |
| 3 | 1 |
| 4 | 1 |
| 5 | 1 |
| Jumlah Total Sel | 5 |
| Jumlah sel/kotak | 1 |

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Sel} &= \frac{\text{Jumlah sel/kotak}}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= \frac{1}{(0,0025 \times 0,1)} \times 1000 \\
 &= 4000000 \text{ sel}
 \end{aligned}$$

RIWAYAT PENULIS



Dinar Resti Megarani, penulis dilahirkan di Kediri pada tanggal 13 Desember 1993 yang merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Dharma Wanita pada tahun 2000, lulus dari SD Bangsal IV pada tahun 2006, lulus dari SMP Negeri 3 Kediri pada tahun 2009 dan lulus dari SMA Negeri 6 Kediri pada tahun 2012. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Program Studi Diploma III Teknik Kimia FTI-ITS dengan Nomor Registrasi 2312 030 030. Selama kuliah penulis aktif berorganisasi sebagai Staff Hubungan Masyarakat Himpunan Mahasiswa DIII Teknik Kimia FTI-ITS (2013-2014) dan Staff Hubungan Masyarakat Himpunan Mahasiswa DIII Teknik Kimia FTI-ITS (2014-2015), serta beberapa pelatihan dan seminar yang diadakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT.IKPT (Inti Karya Persada Tehnik) Jakarta. Email : dinarrest@yahoo.com



Hanna Rasyida, penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 22 Mei 1994 yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Barunawati pada tahun 2000, lulus dari SDN Kaliasin 1/280 Surabaya pada tahun 2006, lulus dari SMP Negeri 6 Surabaya pada tahun 2009 dan lulus dari SMA Negeri 1 Surabaya pada tahun 2012. Setelah lulus SMA penulis diterima di Program Studi Diploma III Teknik Kimia FTI-ITS dengan Nomor Registrasi 2312 030 064. Selama kuliah penulis berorganisasi sebagai Staff Bidang Komunikasi dan Informasi (2013-2015) Himpunan Mahasiswa DIII Teknik Kimia, dan mengikuti beberapa pelatihan dan seminar yang diadakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT.IKPT (Inti Karya Persada Tehnik) Jakarta. Email : hannasyd22@gmail.com